

Aalto-yliopisto

Insinööritieteiden korkeakoulu

Rakennus- ja rakennetuotantotekniikan tutkinto-ohjelma

**Porajumbon tiedonkeruujärjestelmän hyödyntäminen
porarien ammattitaidon kehittämisessä**

Diplomityö

09.01.2014

Joonas Hakkila

AALTO-YLIOPISTO INSINÖÖRITIEDEIDEN KORKEAKOULU PL 11000, 00076 AALTO http://www.aalto.fi		DIPLOMITYÖN TIIVISTELMÄ	
Tekijä: Joonas Hakkila			
Työn nimi: Porajumbon tiedonkeruujärjestelmän hyödyntäminen porarin ammattitaidon kehittämisessä			
Tutkinto-ohjelma: Rakennus- ja rakennetuotantotekniikan tutkintoohjelma			
Pääaine: Pohja- ja kalliorakentaminen		Pääaineen koodi: IA3028	
Vastuupettaja(t): Prof. Mikael Rinne Ohjaaja(t): Diplomi-insinööri Jukka Halonen			
<p>Tämän työn tavoitteet oli selvittää porajumbon keräämän poraus- ja MWD tiedon hyödyntämismahdollisuudet porarin ammattitaidon kehittämiseksi, sekä tuottaa poraus- ja MWD tietoa hyödyntävä raportointijärjestelmä porarin ammattitaidon kehittämisen tueksi.</p> <p>Työn pohjana käytettiin Sandvikin DT1130i porajumboa, sekä Sandvikin iSure projektinhallinta- ja tiedonanalysointiohjelmistoa. Poraustapahtumien poraus- ja MWD-tieto oli käytettävissä viidellä tavalla. Erot muodostuivat tiedon määrästä, sekä sen esittämiseen tarvittavasta ohjelmistosta. Valmiiden raporttien vaihtoehdot olivat iSuren käyttöliittymä sekä tekstinkäsittelyohjelmissa avattavat raportit. Taulukkolaskentatiedostojen, IREDES standardin sekä jumbon tuottamien tiedostojen käyttämiseksi tietoa piti käsitellä ennen tulkintaa. Taulukkolaskentaohjelmassa tiedonkäsittely on liian työlästä ilman ohjelmointia. Muiden vaihtoehtojen toteutukset perustuivat ohjelmointiin.</p> <p>Vaihtoehtoista soveltuvimmiksi osoittautuivat taulukkolaskenta ja IREDES standardin tiedostot. Muut vaihtoehdot hylättiin soveltumattomina tämän työn tarkoituksiin. Ensimmäiseksi kehitettiin taulukkolaskentaohjelmassa toimivaa raportointijärjestelmää. Vaihtoehdon jatkokehittämisestä luovuttiin tiedostorakenteen kankeuden vuoksi. Kehitystyössä hankitut kokemukset hyödynnettiin IREDES standardin tiedostoja varten tuotetun raportointijärjestelmän luonnissa. Tuotettu raportointijärjestelmä sisältää porarin tehokkuuden kehittymistä esittävän kuvaajan, kallioperän kuvailemista kehittävä kolmivaiheisen oppimistyökalun, porareitit ja porausjärjestyksen sisältävän porauskaavion sekä katkon reikäkohtaisia tietoja.</p> <p>Jumbon keräämä poraus- ja MWD-tieto soveltuvat porarin ammattitaidon kehittämiseen. Tietojen hyödyntäminen vaatii työkalun, jolla esittää tarvittavat tiedot ytimekkäästi ja selkeästi. Tässä työssä tuotettu raportointijärjestelmä on toimiva esimerkki poraus- ja MWD tiedon hyödyntämisestä porarin ammattitaidon kehittämiseksi.</p>			
Päivämäärä: 09.01.2014		Kieli: Suomi	
		Sivumäärä: 66	
Avainsanat: Porari, päältä iskevä porakone, porajumbo, raportointijärjestelmä, MWD			

AALTO UNIVERSITY School of Engineering PL 11000, 00076 AALTO http://www.aalto.fi		Abstract of Master's Thesis	
Author: Joonas Hakkila			
Title of thesis: Developing the professional skills of a tunneling jumbos driller via the information gathering system of the jumbo			
Degree Programme: Structural Engineering and Building Technology			
Major subject: Foundation and Rock Engineering		Code: R3003	
Supervisor: Prof. Mikael Rinne Instructor: Diplomi-insinööri Jukka Halonen			
<p>The goals of this study were to find out what options exist for utilising drilling and MWD data collected by a drilling jumbo and to create a reporting system that would use the collected data.</p> <p>All the data used in this study were collected from Sandvik's DTi1130 jumbo and iSure project management and analysis program. The collected MWD data was available for use in five different ways. The differences of use varied between the amount of information available and the program needed to present the information. Alternatives based on readymade reports were the iSure applications user interface and reports in word processing programs. Spreadsheet, the IREDES standard- and files created by the drilling jumbo need to be processed before they can be interpreted. Analysis of information in spreadsheet programs is too troublesome without programming. All other options were based on programming purpose made programs.</p> <p>The most suitable means of use for the gathered information proved to be the spreadsheet and IREDES standard files. Other options were discarded as unsuitable for use in this study. The first attempt of developing a reporting system was done in a spreadsheet program. Due to inflexibility issues further development of this option was discarded. Experiences gathered in the development progress were used when developing the option using the IREDES standard files. The produced reporting system includes a graph showing the development of efficiency of the driller, a three face learning tool for describing of the rock, a drilling plan illustrating drill holes and drilling order, and information of the round.</p> <p>Drilling and MWD data gathered by the jumbo are suitable for developing the skills of a professional driller. Use of the information demands a tool to exhibit all the information in a short and clear way. The reporting system created in this thesis is an working example of how to use drilling and MWD information to develop the skills of a professional driller.</p>			
Date: 09.01.2014		Language: Finnish	
		Number of pages: 66	
Key words: Driller, top hammer drill, jumbo, report system, MWD			

Alkusanat

Tämän diplomityön aihe syntyi Kalliorakennus-Yhtiöt Oy:n ajatuksesta soveltaa yrityksen uuden porajumbon keräämää poraus- ja MWD-tietoa porarin kehittämiseen. Idea oli tutkia uuden DT1130i jumbon käytön mahdollisuuksia porarien kehittämiseen porauksen sivutuotteena syntyvää tietoa hyödyntäen. Diplomityö on antanut minulle mahdollisuuden syventyä porarien työnkuvaan ja heidän tapaansa tulkita kallioperää.

Haluan kiittää professori Mikael Rinnettä kärsivällisyydestä ja avusta työn aikana. Iso kiitos kuuluu Kalliorakennus-Yhtiöt Oy:n toimitusjohtaja Jukka Haloselle työn ideasta, tuesta ja mahdollisuudesta tehdä työ. Sandvik Mining and Construction Oy:tä haluan kiittää kaikesta tiedosta ja ohjeistuksesta jotka minulle on annettu tämän työn aikana. Lisäksi haluan kiittää kaikkia Kalliorakennus-Yhtiöt Oy:n työntekijöitä jotka ovat antaneet oman panoksensa tähän työhön heidän antamien oppien ja avun myötä.

Tämän työn tulokset eivät olisi olleet mahdollisia ilman erinomaista ohjelmointiapua. Tästä kiitos kuuluu Antti Nilakarille, joka teki raportointijärjestelmän ohjelmoinnin ja antoi ideoita ohjelmoinnin toteutuksesta.

Viimeiseksi kiitän perhettäni, kavereitani ja erityisesti Niinaa siitä että he kaikki jaksoivat kannustaa minua tämän diplomityön tekemiseen. Jokaisella oli tähän oma tyykinsä ja niitä kaikkia tarvittiin. Kiitos.

Espoossa 9.1.2013

Joonas Hakkila

Sisällysluettelo

1 Johdanto.....	Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.
1.1 Tutkimuksen tausta	2
1.2 Tutkimusongelma.....	2
1.3 Tutkimuksen tavoite.....	3
1.4 Tutkimuksen rajaukset	3
2 Tunnelirakentaminen	5
2.1 Poraus- ja räjäytysmenetelmä	5
2.2 Tunnelilouhintatyömaan kustannusrakenne.....	6
3 Maanalainen tuotantoporaaminen.....	9
3.1 Kallioperä porattavana materiaalina	9
3.2. Porausksen teoria	10
3.2.1 Iskuvoima	11
3.2.2 Iskutaajuus	11
3.2.3 Syöttöpaine	12
3.2.4 Pyöritys	12
3.2.5 Huuhtelu	13
3.3 Poraustarkkuus	14
3.3.1 Alkuvirhe	14
3.3.2 Alkupaikkavirhe	15
3.3.3 Taipuma	15
3.3.4 Pituusvirhe	17
3.3.5 Kulma- ja suuntausvirheet	18
3.4 Porauskalusto	19
3.4.1 Porakruunu, poratanko ja niska	19

3.4.2 Porakone	20
3.4.3 Poravaunu	21
3.5 Poraustapahtuman automatisoitu tiedonkeruu	22
3.5.1 Porauksen aikainen mittaus (MWD)	22
3.5.2 IREDES standardi.....	25
3.6 Porari	26
4 Mittausjärjestelyt	29
4.1 Porajumbo	29
4.2 Tiedonkeruuohjelmisto	31
4.3 Porarit.....	32
4.4. Työmaa.....	32
5 Raportointijärjestelmä	34
5.1 Raportointijärjestelmän tavoitteet	34
5.2 Tiedonkeruuohjelmiston soveltamisen mahdollisuudet.....	35
5.2.1 iSure tietokoneen näytöltä	36
5.2.2 iSuren *.doc raportit	40
5.2.3 Poraus- ja MWD tieto taulukkolaskentaohjelmassa	42
5.2.4 Poraus- ja MWD tiedot IREDES standardissa	44
5.2.5 Poraus- ja MWD tiedot *.dcl tiedostoissa	45
5.2.6 Yhteenveto ja toteutustavan valinta.....	45
5.3 Raportointijärjestelmän toteuttaminen	47
5.3.1 Raportointijärjestelmän ohjelmointi	47
5.3.2 Raportin tulostaminen.....	47
5.3.3 Raportin yleiset osat	48
5.3.4 Porauskaavio.....	48
5.3.5 Porarin tehokkuus	49

5.3.6 Reikämatto	50
5.3.7 Reikäkohtainen tehokkuus.....	53
5.3.8 Raportointijärjestelmän käyttöohjeet.....	54
5.3.9 Toteuttamattomat raportin osat.....	55
5.4 Raportointijärjestelmän käyttökokemukset.....	55
5.5 Kehitysehdotukset	59
5.6 Jatkotoimenpiteet	61
6 Johtopäätökset	62
7 Yhteenveto.....	64
Lähteet	67
Liitteet	
Liite 1 IREDES standardin mukainen tiedosto porareian MWD tiedoista 1 s	
Liite 2 iSuren mitaamat muuttujat 2 s	
Liite 3 Raportointijärjestelmän tuottama raportti 1 s	

Määritelmät

Seuraavassa on selostettu lyhyesti työssä käytettyjä termejä:

MWD	Measure While Drilling, suom. porauksenaikainen tiedonkeruu
Roll-over kulma	Porajumbon puomin pituusakselin ympäri pyörivän akselin kulma
iSure	intelligent Sandvik Underground Rock Excavation
*.xml	Extended Markup Language tiedosto
*.csv	Comma Separated Value tiedosto
*.dcl	AutoCAD LT Dialog Definition tiedosto
USB Dongle	Kirjoitussuojatulla USB muistitikulla sijaitseva ohjelmistoavain
IREDES	International Rock Excavation Data Exchange Standard, kansainvälinen kaivosalan standardi työkoneneiden tiedonkeruulle
Poraussekvenssi	Jumbon puomin siirto reikien välillä
RB	Ruiskubetoni
Kova, kynsi	Teoreettisen louhintaprofiilin sisäpuolelle jäänyt kalliopinta
Reunareikä	Katkon uloimmat porareivät tunnelin katossa ja seinillä
Kenttäreiät	Porareivät katkon keskellä, yleensä isommalla panoksella
Apukaari	Reunareikien ja kenttäreikien välinen reikärivi

Pilotti	Tunnelin ensimmäisenä louhittava katko
Lusta	Kallioperän epäjatkuvuusalue, kuten rakoiluvyöhyke
Lusta-automatiikka	Jumbon automatiikka, joka ohjaa poran toimintaa kruunun kohdatessa lustan
Remontti	Työkoneiden huoltoon erikoistunut työntekijä
Komu	Irtonainen kallionkappale kalliokatossa tai seinässä
In situ	Latinaa, joka tarkoittaa alalla ”mittaukset suoritettiin työmaalla”
Poraustieto	Poraukseen liittyvät tiedot, kuten reiän pituus ja sijainti
Operaattori	Automaatilla poraavan porajumbon koneenkäyttäjä
Tuuletus	Räjätys- ja pakokaasujen korvaaminen raitisilmalla koneellisen tuuletuksen avulla
Lastaus	Kiviaineksen lastaaminen kuorma-autojen kyytiin ja ajaminen ulos tunnelista
Lujitus	Louhitun kalliotilan vahvistaminen turvallisuuden takaamiseksi
Porauskaavio	Poraussuunnitelma, joka ilmaisee porareikien suunnat, koot, pituudet ja sijainnit

1 Johdanto

”The data we collect throughout the course of a tunneling project is only valuable if it can be turned into information.” [1]

Louhittaessa tunnelia poraus-räjäytysmenetelmällä poraustapahtumalla on kiistämätön rooli projektin kriittisellä polulla. Kallioperään poratuista rei’istä suoraan riippuvaisia työvaiheita ovat panostus, pultitus ja injektointi. Rei’istä välillisesti riippuvaisia työvaiheita ovat louhittuun kalliopintaan tukeutuvat työt, kuten ruiskubetonityöt ja betonirakenteet.

Porauksen laadun ja tehokkuuden parantamiseksi porarin ammattitaitoa tulee kehittää. Kehittymisen tarkkailu on mahdollista vertailemalla jumbosta kerättyä poraustietoa. Vertailu voidaan suorittaa yhden porarin vertailukelpoisten poraustapahtumien kesken tai useamman samalla jumbolla työskentelevien porarien poraustapahtumien kesken.

Perinteisesti porarin ammattitaitoa on ollut vaikea mitata muuten kuin tarkkailemalla louhintajälkeä, koneiden huoltokustannuksista tai työhön kulunutta aikaa. Valtaosa porarin työstä katoaa tarkkailijoilta kallioperän sisään. Tämä tilanne on muuttumassa tiedonkeruun mahdollisuuksien monipuolistuessa työmaalla ja itse laitteissa.

Sandvikin DT1130i porajumbon mukana tuleva tiedonkeruuohjelmisto mahdollistaa kerätyn informaation alustavan analysoinnin näytöltä iSuressa sekä valmiiden raporttipohjien muodossa tekstinkäsittelyohjelmissa. Laitetoimittajan valmiit raportointipohjat koettiin epäkäytännöllisiksi porarin ammattitaidon kehittämisessä. Poraustiedon syvällisempi analysointi on mahdollista taulukkolaskentaohjelmistoissa tai itse tuotetuissa ohjelmistoissa.

Ensisijaisesti tutkittavaksi aineistoksi valittiin katkoja, joissa oli sama porauskaavio ilman ylimääräisiä tai puuttuvia porareikiä. Tällä pyrittiin poistamaan ylimääräisiä muuttujia tarkasteltavasta aineistosta. Porareikien toteutuneiden sijaintitietojen tallentuessa automaattisesti, poraus- ja MWD-tiedot tallennettiin poratun katkon uloimmista rei’istä, eli reunarei’istä. Tämä helpottaa poraustiedon visualisointia

kaksiulotteisesti. Kolmiulotteisen mallin ongelma on sen esittäminen ymmärrettävästi paperille tulostettuna. Levittämällä katkon ulkopinta kaksiulotteiselle tasolle voidaan pinnan tulkinta suorittaa helpommin.

1.1 Tutkimuksen tausta

Ammattitaitoisista jumboporareista on alalla pulaa. Jumbon automaatioasteen nostaminen mahdollistaa ns. operaattorien käyttämisen porarien sijaan ja se myös vähentää kokeneiden porarien tarvetta. Jumbon suorittaessa poraamisen itsenäisesti porarin rooli muuttuu kuskiksi ja koneenhuoltajaksi. Kaikkia katkoja ei kannata porata automaattilla käyttäen ohjelmoituja porauskaavioita. Porauskaavion tuottaminen erikseen pienelle korjaus- tai levityskatkolle vie paljon aikaa verrattuna pätevän porarin manuaaliseen poraustyöhön. Lisäksi kokemus osoittaa ammattitaitoisten jumboporareiden suoriutuvan työstä automaattilla poraavaa jumboa paremmin ja/tai nopeammin. Näin ollen automaatio ei poista kokonaan kokeneiden porareiden tarvetta [2].

Porareiden koulutus on aikaa vievää. Suurin osan ammatillisten taitojen kehittymisestä tapahtuu työn ohella. Monilta osin kyseessä on päättymätön prosessi, jossa oppiminen ei lopu koskaan.

Työsaavutusten mittaaminen miesvoimin palkkaamalla erillinen tarkkailija, eli niin sanottu ”kello Kalle”, on useimmiten saavutettuun hyötyyn nähden kohtuuton kustannus. Poraus- ja MWD-tiedon tiedonkeruun yleistymisen porausvaunuissa ja jumboissa on mahdollistanut kerätyn tiedon käyttämisen porarin kehittämiseksi. Harjoitteluajan lyhentäminen uusilla porareilla, sekä jo työskentelevien porareiden kehittäminen edelleen, hyödyntää kaikkia.

1.2 Tutkimusongelma

Automaattisen tiedonkeruun ongelma on tuotetun valtavan tietomäärän analysointi ja tulkinta. Kustannussyistä johtuen työmaiden resurssit eivät riitä kaiken kerätyn tiedon manuaaliseen käsittelemiseen. Täten vain murto-osa kerätystä tiedosta päätyy luettavaksi.

Toinen ongelma on porareiden kehittymistä palvelevan sovelluksen puuttuminen. Nykyiset sovellukset kykenevät mittaamaan poraustapahtuman kattavasti, mutta tietoa ei ole sovellettu porarin kehittämiseen.

Jotta pystytään kehittämään järjestelmä, jota voidaan käyttää porareiden koulutuksessa, on ensin määriteltävä mitä ominaisuuksia ammattitaitoiselta porarilta vaaditaan. Tätä kautta saadaan määriteltyä tiedonkeruun ja analysoinnin parametrit sekä porarin taitojen kehittämisen ydinalueet.

1.3 Tutkimuksen tavoite

Työn tavoitteena oli selvittää, kuinka porausjumbon tiedonkeruuohjelmistoa voidaan hyödyntää porarien ammattitaidon kehittämisessä. Lisäksi tarkoituksena oli luoda porareiden työsaavutuksia arvioiva ja kehittymistä tukeva raportointijärjestelmä.

Tuotettavan raportointijärjestelmän tavoitteiksi asetettiin etenkin käytettävyys ja selkokielisyys. Raportin tulisi olla työmaan käytettävissä ja tulostettavissa tavanomaisin tietoteknisin työvälinein ja sovelluksin. Paperille tulostettuun raporttiin tulisi olla mahdollista täydentää porarin omat havainnot poratusta kallioperästä. Täten voidaan verrata porauksella tunnusteltua kallioperää louhittuun kalliopintaan. Viimeisenä järjestelmän tulisi esittää porarin kehittyminen työn tehokkuudessa ja laadussa.

1.4 Tutkimuksen rajaukset

Tässä työssä käytetään porajumbon tiedonkeruujärjestelmän niitä ominaisuuksia, joita voidaan hyödyntää porarin ammattitaidon kehittämisessä. Esimerkiksi panostuksen ja pultituksen suunnitteluun tarjolla olevia osia tiedonkeruujärjestelmästä ei hyödynnetä.

Työssä käytettiin Sandvikin DT1130i jumboa, Sandvikin iSure projektinhallinta- ja tiedonanalysointiohjelmistoa, Microsoft Word tekstinkäsittelyohjelmistoa, Microsoft Excel taulukkolaskentaohjelmistoa, Python ohjelmointityökalua MatLib kirjaston kanssa sekä Google Chrome internet selainta.

Jumbon työmaalla viettämästä ajasta osa kuluu muuhun kuin itse poraamiseen. Aikaa vieviä toimintoja ovat mm. siirtymiset, huollot, tauot ja asemoinnit. iSuressa huollolle löytyy oma työkalu, jolla koneenkäyttäjä voi tehdä merkintöjä mm. varaosien vaihdosta ja niiden kulutuksesta ja rikkoutumisesta. Nämä huollon merkinnät näkyvät vain iSuressa. Näiden lisäksi jumbo ei kerää tietoa veden, sähkön tai polttoaineen kulutuksesta. Tässä työssä jumbon tiedonkeruujärjestelmää ei ole ollut tarkoitus kehittää. Ei ole myöskään pyritty seuraamaan sellaisia asioita, joista ei ole jäänyt merkintöjä tiedonkeruujärjestelmään.

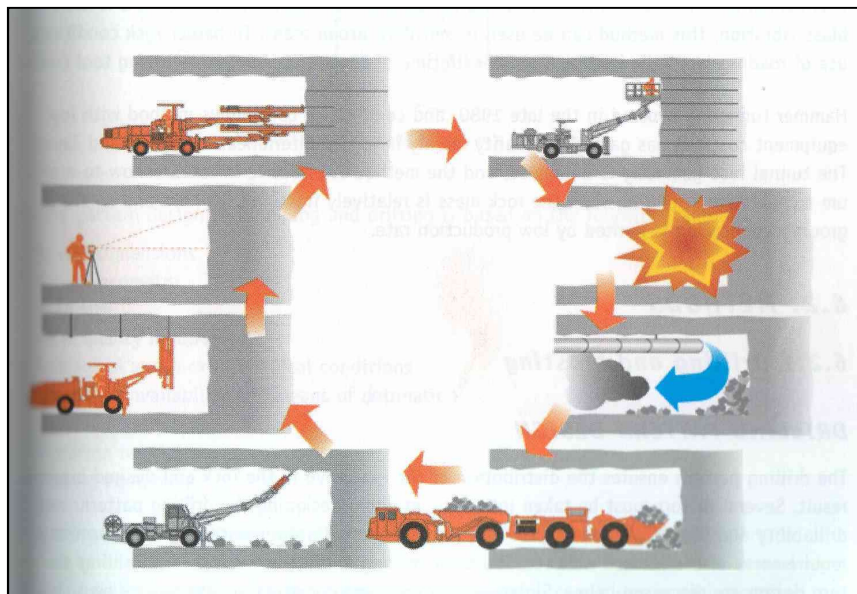
Tunnelirakentamisen työvaiheet on käsitelty siinä laajuudessa kuin tutkimuksen varsinainen aihe vaatii. Täten vain perusteet käydään läpi eikä erikoisempiin työvaiheisiin tutustuta tämän tutkimuksen piirissä. Porauksen teoria käydään läpi siinä laajuudessa kuin se on tarpeen tuotettavan järjestelmän määrittelemiseksi ja porarin ammattitaidon kehittämiseksi.

2 Tunnelirakentaminen

Johtuen kallioperästä ja sen päällä olevasta vähäisestä maakerroksesta, on poraus- ja räjäytysmenetelmä Suomessa vallitseva tunnelilouhintatapa. Avolouhintaan verrattuna tunneliporauskalusto on monimutkaisempaa ja kalliimpaa. Porajumbon hinnan ollessa yli miljoona euroa, ei pienille louhintaliikkeillä ole mahdollisuutta lähteä kilpailemaan urakoista. Kustannusten muodostumisen ymmärtäminen on tärkeä osa työmaan jokaiselle osapuolelle. Porarin kannalta tämän tiedon sisäistäminen on myös hyvin tärkeää, sillä porauksen jälki näkyy vahvasti myös toteutuviissa kustannuksissa.

2.1 Poraus- ja räjäytysmenetelmä

Tunnelirakentaminen Suomessa merkitsee lähes poikkeuksetta poraus- ja räjäytysmenetelmällä louhittuja luolia (kuva 1). Menetelmä perustuu ennakolta suunniteltuihin porauskaavion mukaisiin reikiin, jotka panostetaan räjäytysaineella ja räjäytetään [3]. Räjäytyksen jälkeen seuraavat työvaiheet ovat tuuletus, lastaus, rusnaus, mittauss ja lujitus [4]. Tarpeen mukaan saatetaan lisäksi porata tunnustelu- ja injektointireikiä, injektoida, kartoittaa tunnelia, asentaa varusteluja, jne. Näiden työvaiheiden jälkeen prosessi alkaa alusta panostuskaavion mukaisten panostusreikien poraamisella.



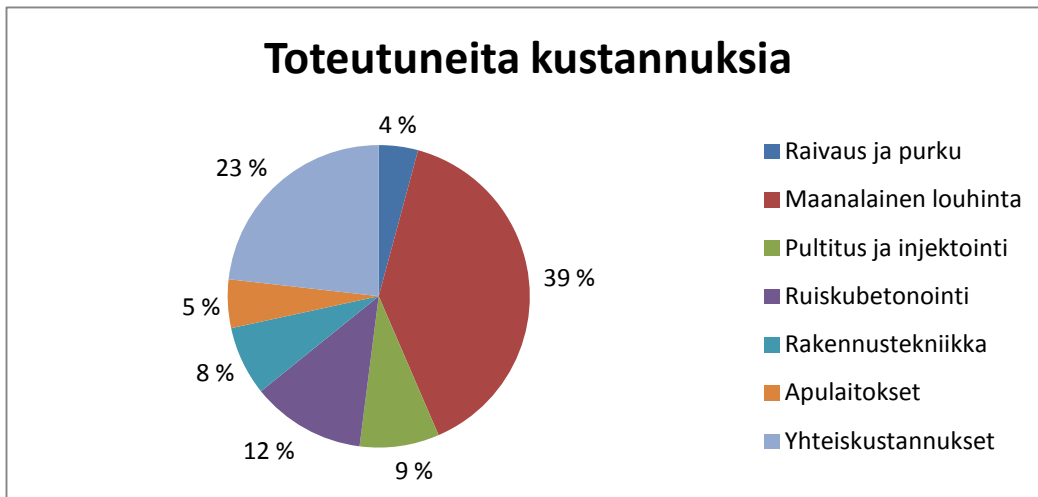
Kuva 1: Poraus- ja räjäytysmenetelmä [4]

Porareikiin perustuvia työvaiheita ovat panostus, pultitus, tunnusteluporaus ja injektointi. Poraukseen epäsuorasti liittyviä työvaiheita ovat ruiskubetonointi ja betonirakennustyöt.

Oikea panostusaste on räjäytystöissä erittäin tärkeää. Säättämällä porareikien sijainnit yhteen panoksien kanssa saadaan aikaiseksi paras mahdollinen louhintajälki ja pysytään tärinäraja-arvojen puitteissa. Porareikien ja/tai panoskoon epäonnistuu seurauksena on yli- tai alipanostus. Alipanostuksessa vapautuva energia ei riitä reikien välisen kallion rikkomiseen, jolloin energia kuluu kallioperän liikuttamiseen tärinän muodossa. Ylipanostuksessa räjähdysaine rikkoo kalliota suunniteltua syvemmältä, aiheuttaen lisääntyntä tärinää sekä kiviaineksen sinkoamista [5].

2.2 Tunnelilouhintatyömaan kustannusrakenne

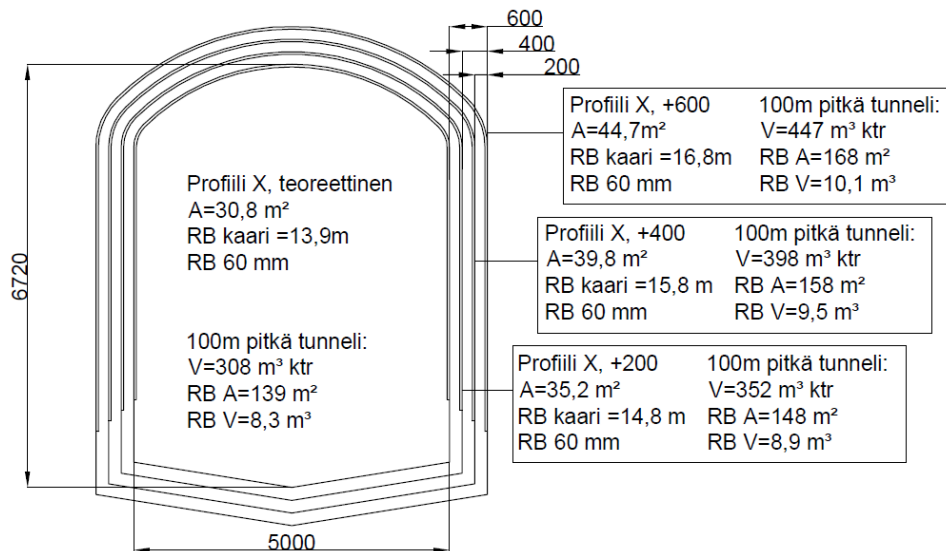
Tunnelilouhintatyömaan kustannukset jakautuvat pääasiassa poraus- ja räjäytysmenetelmän työvaiheiden mukaisesti. Louhintatyöt kattavat kustannuksista 39%, lujitus- ja tiivistystyöt yhteensä 21% (kuva 2). Edellä mainittujen töiden ollessa porauksesta riippuvaisia, joko suoraan tai välillisesti, voidaan todeta työmaan kustannuksista jopa 60% olevan riippuvaisia porauksesta (kuva 2). Poraus-kustannusten varsinaista osuutta on lähes mahdotonta eritellä. Tämä johtuu siitä, että porausta käytetään monissa eri työvaiheissa eikä kaikkia poraukseen liittyviä kustannuksia ole eriteltävissä. Loput kustannuksista jakautuvat työmaata tukevien, valmistelevien ja rakentamiseen liittyvien töiden kesken [6].



Kuva 2: Toteutuneiden kustannusten jakautuminen [6]

Louhintatyön perustana poraus- ja räjäytysmenetelmässä on porareiät, joiden laatu on erityisen tärkeää. Porausvirheet näkyvät kaikissa seuraavissa työvaiheissa, etenkin katkojen reunareioissa, jotka määrittelevät syntyvän pinnan muodon. Porarin rooli korostuu koko projektin kustannuksiin tämän työnjäljen kautta. Ylimääräiset kustannukset syntyvät, kun poiketaan suunnitelmista. Eli erityisen suuri vaikutus kustannuksiin on poratessa katkoja.

Poratessaan katkon porari tulee määrittäneeksi tulevan tilan tilavuuden ja pinta-alan. Kummankin kasvu tai pieneneminen vaikuttaa kustannuksiin. Tunnelin ylilouhinta aiheuttaa lisääntyntä ruiskubetonointia pinta-alan kasvaessa ja lisääntyntä lastaustyötä tilavuuden kasvaessa. Kuvassa 3 on esitetty esimerkkitapaus 100m pitkästä kuvitteellisesta tunnelin pätkästä. Esimerkissä on systemaattisten 200, 400 ja 600 mm porausvirheiden aiheuttamat tilavuuden ja pinta-alan muutokset tunnelissa. Jo 200 mm virhe esimerkissä aiheuttaa 14 % kasvun louhittavassa tilavuudessa sekä 7 % lisäyksen ruiskubetonimassaan, kun hukkaroisetta ei ole otettu huomioon.



Kuva 3: Esimerkki 200 mm, 400 mm ja 600 mm keskimääräisen yliporauksen vaikutuksesta tunnelin, sekä ruiskubetonin, pinta-alaan ja tilavuuteen

Tunnelin alilouhinta aiheuttaa viivästyksiä ja ylimääräisiä kustannuksia. Tämä johtuu profiilin sisäpuolelle jääneiden kalliomassojen jälkilouhinnasta eli ns. kovien poistosta. Pultin- ja injektointireikien porauksessa ongelmaksi voi muodostua väärin suunnatut sekä taipuneet reiät. Seurauksena voi olla korvaavien reikien tuottaminen ja niistä syntyvät kustannukset.

Porari vaikuttaa toimillaan porajumbosta syntyviin kustannuksiin. Työkoneena jumbo on altis kulumiselle ja vikaantumiselle. Suurimmat riskit jumbon kanssa liittyvät odottamattomiin ja ennakoimattomiin huoltoihin. Näistä huoltotoimenpiteistä johtuvat seisokit aiheuttavat viivästyksiä ja ylimääräisiä kustannuksia. Jumbon huollot aiheuttavat viivästyksiä louhinta-, lujitus- ja tiivistystöihin. Ylimääräiset kustannukset syntyvät korvaavien poravaunujen siirroista tai vuokrista, sekä varaosa- ja huoltokustannuksista.

3 Maanalainen tuotantoporaaminen

Maanalainen tuotantoporaaminen tapahtuu lähes poikkeuksetta porajumboilla, joissa porakoneina ovat hydraulisella päältä iskevät porakoneet. Porauskalusto pyritään valitsemaan siten että se kattaa projektin kaikki poraustarpeet. Mahdollisimman suuren käyttöasteen saavuttamiseksi yhtä jumboa käyttää useampi porari vuorotyönä.

Poraustapahtumassa porari tuottaa poravaunulla porareikiä kallioperään. Moderni porajumbo kykenee tallentamaan poraustapahtuman mittaamalla poravaunun laitteiden toimintoja porauksen aikana. Kehittyäkseen toimenkuvassaan porarin tulee ymmärtää työhönsä liittyvät osa-alueet. Nämä on käsitelty tässä kappaleessa.

Porajumboissa käytetään hydraulisia poravasaroita. Poravasaran toimintaperiaate on säilynyt, mutta poralaitteen tehot ovat kasvaneet ja automaatio lisääntynyt.

3.1 Kallioperä porattavana materiaalina

Pohjoismaissa, lukuun ottamatta Norjan vuoria, kallioperä on otollista poraus- ja räjäytysmenetelmällä louhittavaksi. Kivilajit ovat syväkivilajeja, jotka ovat aikojen saatossa muovautuneet useita kertoja suuressa paineessa ja lämpötilassa. Lisäksi jääkaudet ovat hiertäneet pois kaikki pehmeät sedimentoituneet kerrokset [7].

Kivilajien valtava määrä johtuu syntyvän, syntyolosuhteiden ja mineraalikoostumuksen mahdollisten yhdistelmien kirjosta. Ajan kuluessa nämä muuttuvat edelleen eroosion, lämmön ja paineen avulla uusiksi tai erilaisiksi kivilajeiksi. Samalla kallio on halkeillut, venynyt, poimuttunut. Kaikkien näiden tekijöiden johdosta kallioperän ominaisuudet vaihtelevat paljon lyhyilläkin matkoilla, etenkin metamorfisten kivilajien alueilla, kuten Suomessa [7].

Kallioperän epähomogeeninen koostumus hankaloittaa kallion poraamista. Haasteita luovat kallion rakenteelliset vaihtelut, suuntautuneisuus ja heikkousvyöhykkeet eli lustat. Raot kallioperässä tekevät muuten kovasta ja yhtenäisestä kalliosta helpommin murtuvaa. Poran lävistäessä ruhjetta saattaa porareikä sortua ja tukkeutua. Tällöin porarin tulee vähentää syöttö-, ja pyörityspainetta, jotta eteneminen tapahtuisi

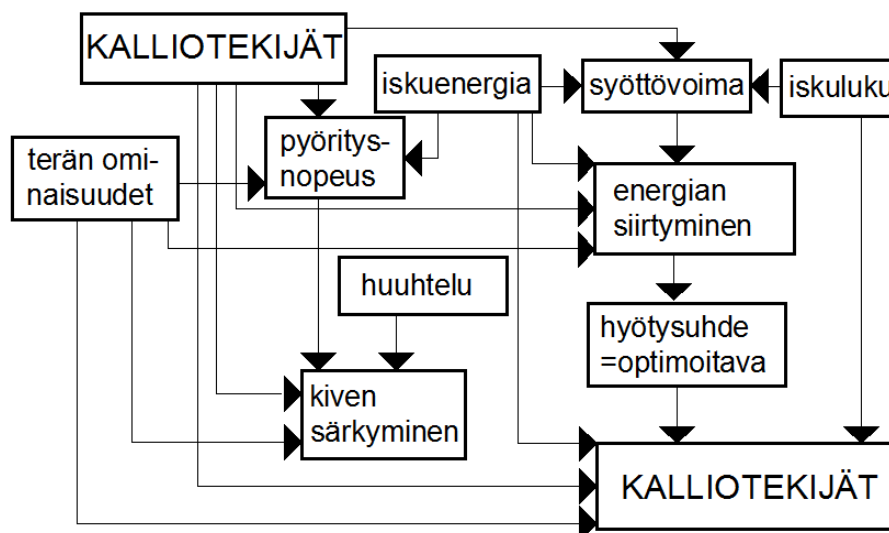
hitaammin vaikeassa kohdassa. Hidastaminen mahdollistaa sortuvan materiaalin huuhtelemisen tukkimatta porareikää. Tarvittaessa poranterä voidaan vetää taaksepäin ja yrittää uudelleen. Rikkonaiseen kiveen suunnitellut porakruunut ja paksummat poratangot helpottavat poraamista huonolaatuisessa kivessä.

Kivilajin lujuus on yksi kallioperän tärkeimmistä ominaisuuksista. Mitä kovempaa kivilaji on, sitä suurempia kuormia se kestää. Syvä- ja metamorfiset kivilajit ovat tyypillisesti pinta-, sedimentti- ja vulkaanisia kivilajeja lujempia. Kovemmat kivilajit kasvattavat poranterien teroitustarvetta, mutta ovat yleensä hyviä porattavaksi.

3.2. Porauksen teoria

Poran tunkeutumisnopeus riippuu iskuvoimasta, pyöritysnopeudesta, iskutaajuudesta, syöttövoimasta ja huuhtelusta. Ihanteellinen tunkeutumisnopeus on näiden tekijöiden summa (kuva 4) eikä yhden tekijän kasvattaminen ilman muiden huomioimista riitä. Lisäksi tunkeutumisnopeuteen vaikuttavat käytetty kalusto ja osien kuluminen [8].

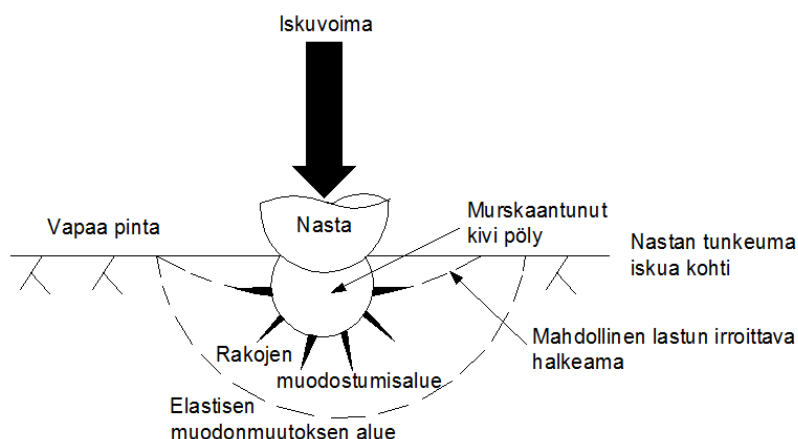
Porauksen teorian ymmärtäminen auttaa luomaan porakoneen käyttäytymiselle syy-yhteyden poraustapahtuman aikana ja sen jälkeen. Ymmärtämällä teorian on mahdollista säästää kalustoa ja parantaa porauksen laatua.



Kuva 4: Poraukseen liittyvät tekijät [8]

3.2.1 Iskuvoima

Iskunpaine tarkoittaa hydraulista painetta, jolla poran määntää liikutetaan. Iskuvoima välittyy männästä niskaan, josta edelleen tankoja pitkin porakruunuun, joka iskee kalliota. Tarvittava iskunpaine määräytyy kivilajin kovuuden mukaan. Kun kalliota isketään riittävän suurella voimalla, irtoaa iskukohdan sivuilta kivilastut. Iskupisteen välittömässä läheisyydessä oleva kiviaines murskautuu tomuksi. Lastuamisen ja tomun lisäksi kallioon syntyy rakoja (kuva 5).



Kuva 5: Kiven rikkoutuminen iskusta [4]

Kallion lohkeamisen lähtökohtana on, että kovempaa kiveä pitää lyödä suuremmalla voimalla [8]. Liian suuren tai pienen iskuvoiman käytön seuraukset on esitelty taulukossa 1.

Taulukko 1: Iskuvoiman vaikutus poraukseen [9]

Liiallinen iskuvoima:	Riittämätön iskuvoima:
-kruunun nastat rikkoontuvat	-huono tunkeutumisnopeus
-poratanko ja niska rikkoontuvat	-lisääntynyt kruunun nastojen kuluminen (pyörivä kruunu jauhaa kiveä)

3.2.2 Iskutaajuus

Iskutaajuus, eli kuinka tiheään porakoneen mäntä iskee niskaa. Taajuutta nostettaessa poran tunkeutumisnopeus kasvaa iskujen määrän lisääntyessä. Taajuus on riippuvainen

pyöritysnopeudesta ja nämä kaksi pitää säätää toistensa mukaan. Modernien jumbojen porat iskevät noin 100 Hz taajuudella.

3.2.3 Syöttöpaine

Syöttöpaine tarkoittaa painetta, jolla porakonetta työnnetään kelkassa puomin kiskoa pitkin. Tällöin poratangossa kiinni oleva kruunu painautuu kalliota vasten. Riittävällä syöttöpaineella varmistetaan kallion ja porakruunun kontakti [4].

Liian alhainen syöttöpaine ei riitä kiven rikkomiseen. Tällöin porauskalustoa pitkin kiveen siirtyvät paineaallot heijastuvat takaisin synnyttäen poraustankoon vetoa. Lisäksi huono kontakti kruunun ja kallioperän välillä kuluttaa kruunua (taulukko 2).

Liian suuri syöttöpaine taas estää poranterän pyörimisen kitkan ollessa liian suuri kallion ja poranterän välillä. Lisäksi liian suuri syöttöpaine lisää terän juuttumisen riskiä. Tämä johtuu porakankien taipumisesta kovan paineen alla, joka johtaa porareikien taipumiseen (taulukko 2).

Taulukko 2: Syöttöpaineen vaikutus poraukseen [9]

Liiallinen syöttöpaine:	Riittämätön syöttöpaine:
-ongelmia huuhtelun kanssa	-kruunun nastojen ulos pullahtaminen
-nopea kruunujen ja nastojen kuluminen	-huono tunkeutumisnopeus
- porareiän lisääntynyt taipuminen	-porakankien liitosten löystyminen ja lisääntynyt liitosten kuluminen
-ongelmia porakankien irti kiertämisessä	-huono energian välittyminen
-porakangen ja niskan taipuminen → osien rikkoontumisien lisääntyminen	

3.2.4 Pyöritys

Iskuporauksessa poran pyörimisen tarkoituksena on vaihtaa poranterän asentoa iskujen välillä. Pyöritysnopeus ja iskutaajuus riippuvat toisistaan ja nämä tulee sovittaa toistensa mukaisesti. Pyörimisen ollessa optimaalinen irrottaa poranterä kalliosta mahdollisimman isoja paloja kerrallaan, jolloin kuluu vähiten energiaa. Vastaavasti eniten energiaa porareiän tuottamiseen kuluu, kun kallioperä jauhetaan tomuksi. Ihanteellinen pyöritysnopeus riippuu kallioperästä, poratangosta, poraterästä ja muista

poraukseen liittyvistä tekijöistä [4]. Tilanteeseen nähden väärän pyöritysnopeuden vaikutukset on esitelty taulukossa 3.

Taulukko 3: Pyöritysnopeuden vaikutus poraukseen [9]

Liiallinen pyöritysnopeus:	Riittämätön pyöritysnopeus:
-huono tunkeutumisnopeus	-huono tunkeutumisnopeus
-rikotun kiviaineksen uudelleen rikkominen	-rikotun kiviaineksen uudelleen rikkominen
-kasvanut kruunun nastojen kuluminen (pyörivä kruunu jauhaa kiveä)	
-porakankien irti kiertäminen vaikeutuu	

3.2.5 Huuhtelu

Huuhtelun tarkoitus on poistaa irrotettu kiviaines eli porasoija poratusta reiästä vedellä ja viilentää porauskalustoa. Riittämätön huuhtelu aiheuttaa porasoijan uudelleen murskauksen poranterän alla, tunkeutumisnopeuden pienentymistä ja porareian tukkeutumista. Nämä tekijät johtavat edelleen kaluston nopeutuneeseen kulumiseen.

Huuhtelun mukana porareistä ulos tuleva porasoijan väri auttaa kallion kuvailussa. Porasoijan analysointi on helpompaa ilmahuuhtelua käyttävien avolouhintavaunujen kanssa. Tällöin porareistä ulos tulevan kiviaineksen muotoa ja kokoa voidaan tarkkailla. Vesihuuhtelun kanssa on mahdollista arvioida lähinnä kiviaineksen väriä. Lisäksi näiden tarkkailua hankaloittaa työskentely hytistä käsin, usean metrin päässä porattavasta perästä. Avolouhinnassa porari on usein reiän vieressä. Huuhtelun voimakkuuden vaikutukset ovat esitelty taulukossa 4.

Taulukko 4: Huuhtelun paineen vaikutus poraukseen [9]

Liiallinen huuhtelun paine:	Riittämätön huuhtelun paine:
-tiivisterikon sattuessa vesi pääsee vasaran sisään	-huono tunkeutumisnopeus (rikotun kiviaineksen uudelleen rikkominen)
-kruunujen jumiutuminen porareikään	-lisääntynyt kruunujen nastojen kuluminen

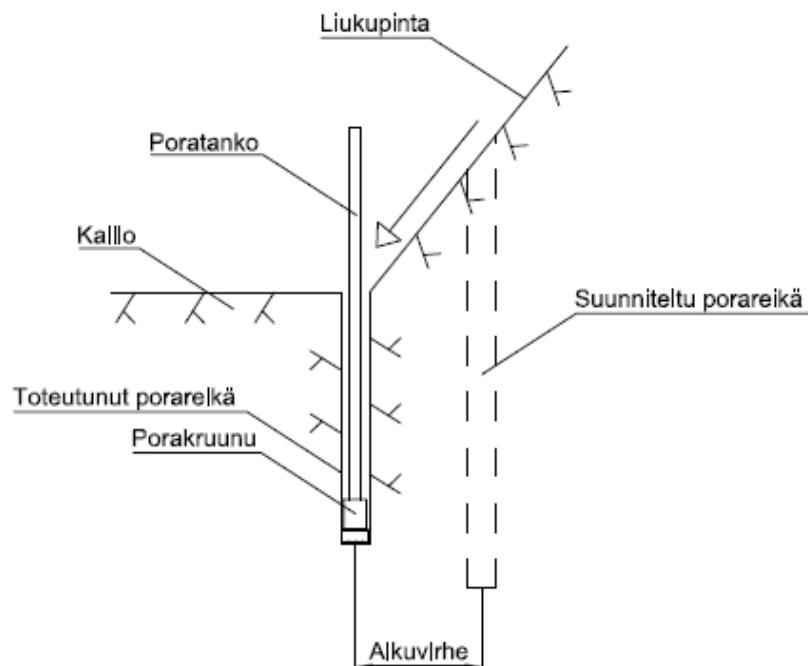
3.3 Poraustarkkuus

Porauksen tavoite on tuottaa suunnitelman mukaisia reikiä kallioperään. Toteutuma ei ole koskaan 100 % suunnitelman mukainen. Erot suunnitelmiin nähden syntyvät kallioperän ominaisuuksista, mittaustarkkuudesta ja käyttäjän toiminnoista.

Porausvirheillä on erityisen suuri vaikutus panostettaessa katkon reikiä. Jos porausvirheet eivät tule panostajan tietoon voi seurauksena olla joko yli- tai alipanostaminen. Louhittaessa pilottia kallioperään porausvirheet korostuvat. Pengerlouhintaan verrattuna pilotin porauskaaviot ovat paljon monimutkaisempia. Miltei jokainen reikä on eri kulmassa viereiseen nähden ja reikäväli sekä etu vaihtelevat reikätyypeittäin. Katkon eri reikätyyppien laatuvaatimusten ymmärtäminen auttaa poraria käsittämään virheiden minimoimisen merkityksen.

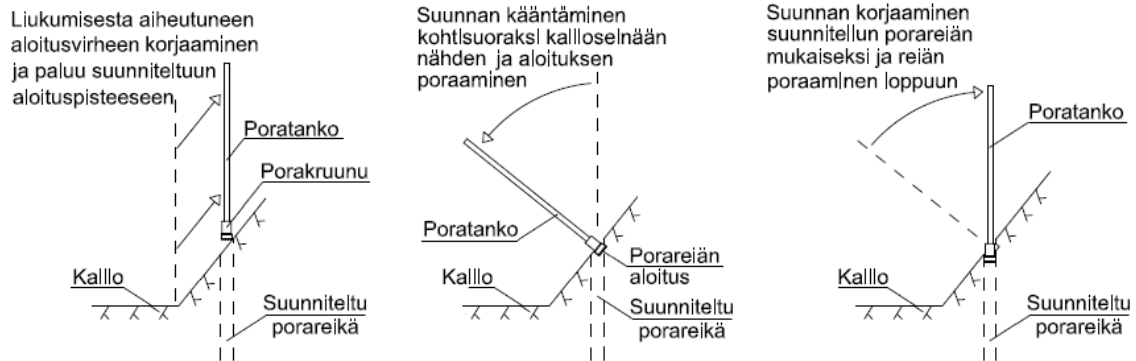
3.3.1 Alkuvirhe

Alkuvirhe syntyy kun porareikä aloitetaan eri kohdasta kuin mistä oli suunniteltu. Virhe syntyy erityisesti aloitettaessa poraamaan kaltevalta pinnalta. Pora liikuu pintaa pitkin eli ”piirtää” kunnes vastaan tulee pysäyttävä kallionmuoto (kuva 6).



Kuva 6: Alkuvirhe

Virhe saadaan ehkäistyä aloittamalla poraaminen pintaa nähden kohtisuoraan ja kääntämällä pora suunnitellun mukaiseksi kun riittävä kolo on saatu porattua (kuva 7).



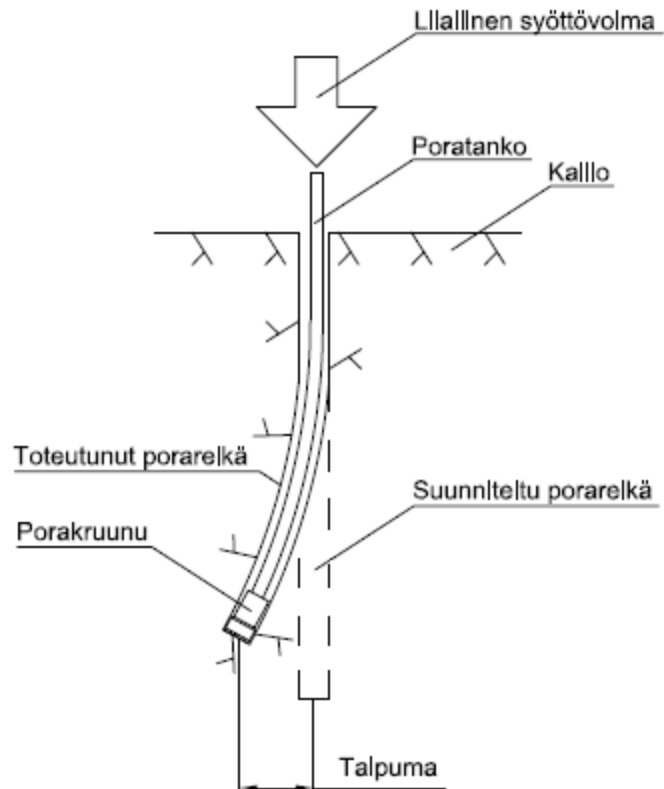
Kuva 7: Alkuvirheen korjaaminen

3.3.2 Alkupaikkavirhe

Alkupaikkavirhe syntyy ennen kuin jumbo edes saapuu porattavalle katkolle. Virhe johtuu mittauksen, merkitsemisen ja suunnitelmien virheistä. Näiden syntyminen ei niinkään ole porarin käsissä, muiden huolehtiessa prismapisteiden ylläpidosta, mittauksesta ja porauskaavioiden tekemisestä.

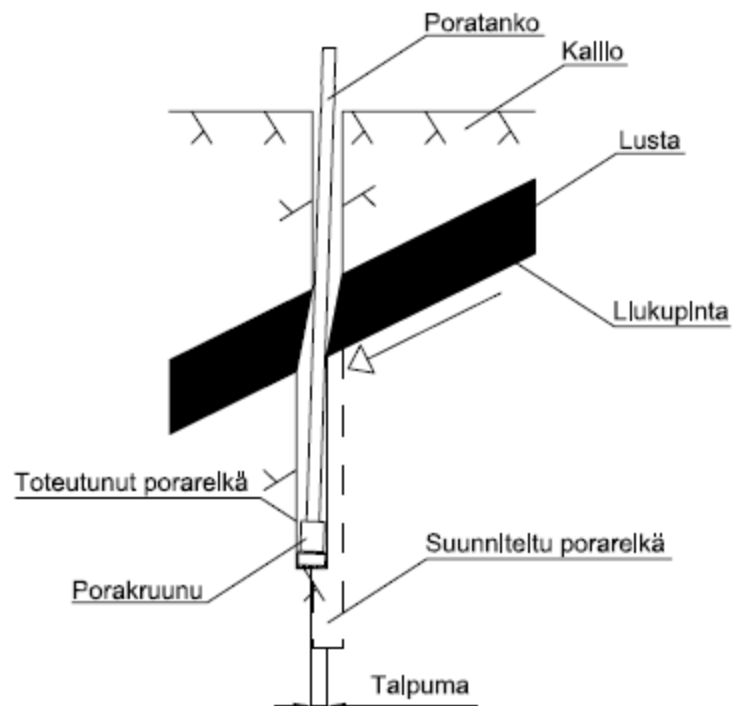
3.3.3 Taipuma

Taipuma tarkoittaa porareiän kaareutumista. Porareiän taipumista tapahtuu, kun poratessa käytetään liikaa syöttövoimaa tai kun kallioperän rakojen tai, liuskeisuuden suunnat ohjaavat porakruunua sivulle.



Kuva 8: Porareian taipuminen liiallisesta syöttövoimasta johtuen

Liiallinen syöttövoima pyrkii taivuttamaan poratankoa, jolloin porakruunun kosketus reikään nähden kääntyy (kuva 8). Vain poratankon jäykkyys pyrkii estämään reiän taipumista. Mikäli syöttövoimaa ei vähennetä voi reikä taipua merkittävästi ja täysin sattumanvaraiseen suuntaan.



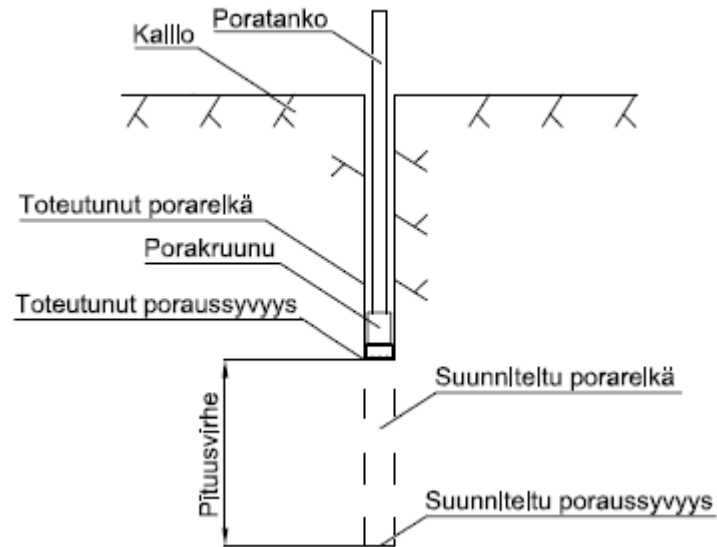
Kuva 9: Porareiän taipuminen lustasta johtuen

Kallioperän raot ja liuskeisuus ohjaavat porakruunua ”alamäkeen” eli porakruunun menosuuntaan nähden olevan rakopinnan suuntaan (kuva 9). Tämä on mahdollista, koska poratanko on kapeampi kuin porattu reikä. Tätä virhettä voidaan pyrkiä korjaamaan käyttämällä paksumpia poratankoja ja/tai vähentämällä syöttöpainetta tunnetuissa ongelmakohdissa.

3.3.4 Pituusvirhe

Pituusvirhe tarkoittaa eroa poratun ja suunnitellun reiän poraussyvyiden välillä (kuva 10). Pituusvirhe voi syntyä myös, jos porataan suunnitellun pituinen reikä, mutta poraaminen aloitetaan epätasaisesta kallionpinnasta. Myös kulma- ja suuntausvirheet aiheuttavat pituusvirheitä jolloin tavoiteltu poraussyvyys jää saavuttamatta.

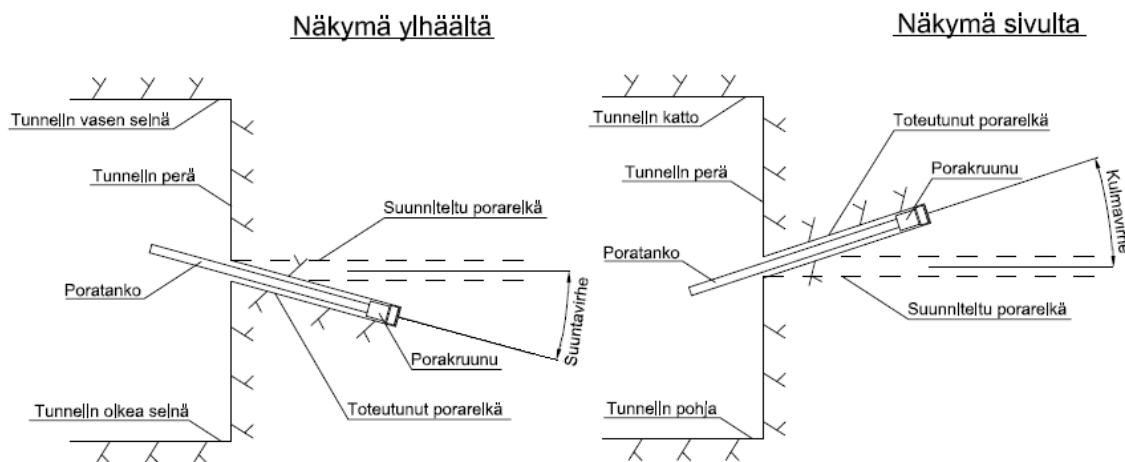
Liian pitkä tai lyhyt reikä voi olla haitallinen seuraavalle työvaiheelle. Ylimittäisiin reikiin lähinnä tuhlaantuu porausresursseja. Lyhyeksi jääneitä reikiä taas saattaa joutua syventämään tai korvaamaan uusilla.



Kuva 10: Pituusvirhe

3.3.5 Kulma- ja suuntausvirheet

Kulma- ja suuntausvirheet sekoittuvat usein keskenään tunnelilouhinnassa. Tunnelilouhinnassa kulmavirhe on pystysuuntaan eli vertikaalinen ja suuntausvirhe vaakasuuntainen eli horisontaalinen (kuva 11). Molemmat virheet ovat suuressa merkityksessä tunnelilouhinnassa porauskaavioiden ollessa paljon monimutkaisempia kuin avolouhinnassa. Pengerlouhinnassa kulmavirhe tarkoittaa penkereen porauskulmasta poikkeavaa kulmaa. Suuntausvirhe vastaavasti tarkoittaa toisen pystysuuntaisen akselin virhettä. Näiden virheiden korjaamiseksi etenkin aloituksen pitää onnistua ja tämä vaatii porarilta lähinnä tarkkuutta ja kärsivällisyyttä.



Kuva 11: Kulma- ja suuntausvirhe tunnelilouhinnassa

3.4 Porauskalusto

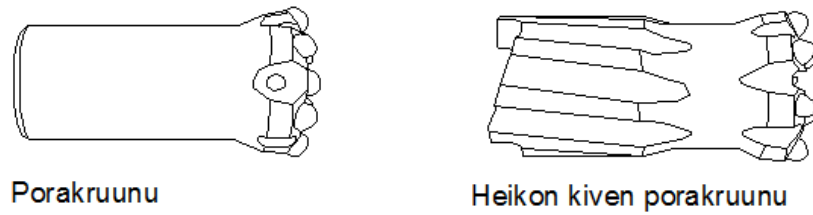
Poraus- ja räjäytysmenetelmässä vallitseva kalustotyyppi on porajumbo. Porakoneet ovat päältä iskeviä hydraulisia porakoneita. Porauskaluston valinnalla voidaan vaikuttaa tunnelin profiilista yhdellä kerralla porattavaan pinta-alaan. Pinta-ala riippuu jumbon puomien määrästä ja ulottuvuuksista. Lisäksi kalustovalinnoilla voidaan vaikuttaa porareikien suoruuteen ja tunkeutumisnopeuteen.

3.4.1 Porakruunu, poratanko ja niska

Porakruunu, poratanko ja niska muodostavat poran eniten kuluvat osat. Nämä muodostavat kallioon tunkeutuvan osan porasta ja ne liitetään toisiinsa kierteillä. Liitosten määrä pyritään minimoimaan, sillä jokaisessa liitoksessa niskan ja kruunun välillä menetetään 6-10 % iskuenergiasta [8].

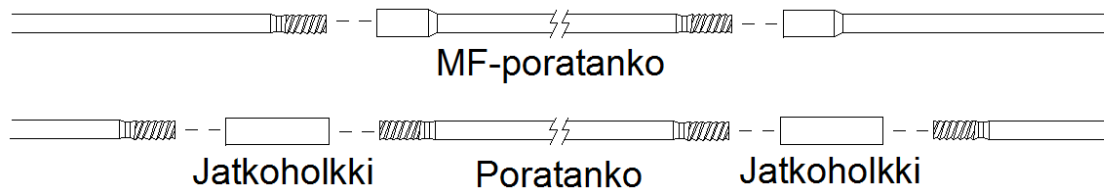
Porakruunun valinta tapahtuu olosuhteiden mukaan. Kruunuissa eroja löytyy kruunun nastojen, huuhtelun ja rungon välillä (kuva 12). Nastojen muotoilu pyöreän ja ballistisen välillä määräytyy kiven kovuuden mukaan. Kovempaan kiveen suositellaan pyöreämpiä ja pehmeään terävämpiä ballistisen muotoilun nastoja [9]. Lisäksi kovassa kivessä nastojen määrää lisätään. Huuhtelun tarve lisääntyy kiviaineksen kovuuden laskiessa kerralla irtoavan kiven määrän lisääntyessä. Huuhtelua voidaan tehostaa syvennyksillä ja huuhtelurei'illä kruunun iskupinnassa.

Suurempia reikiä ja/tai parempaa huuhtelua tarvittaessa on saatavilla muitakin kruunutyypppejä. Esimerkiksi heikon kiven porakruunujen kylkien muotoilu ja huuhtelureikien sijainnit, parantavat huuhtelua, mutta samalla myös reiän suoruutta (kuva 12). Kruunun varren halkaisijaa suurennettaessa ei kruunu pääse kääntymään reiässä. Tällöin reiän suoruus paranee. Pelkän kruunun lisäksi löytyy myös jatkopaloja, joita voi liittää kruunun ja tangon väliin reiän suoruuden lisäämiseksi.



Kuva 12: Porakruunu ja rikkonaisen kiven olosuhteiden porakruunu [10]

Poratangoissa löytyy eroja paksuudessa, pituudessa ja liitostavassa (kuva 13). Paksummat poratangot ovat jäykempiä ohuempiin verrattuna, jolloin reistä tulee lähtökohtaisesti suurempia. Poratankojen paksuutta kasvatetaan reikäkoon kasvaessa lisääntyneen väännön kompensoimiseksi. Huuhtelua voidaan parantaa käyttämällä paksumpia tankoja kasvattamatta kuitenkaan reikäkokoa. Tällöin huuhteluveden paine ja virtaus kasvavat tangon sekä porareian välisen tilan pienentyessä. Tankojen liitostapoja on kaksi. Holkkiliitoksellisissa tangoissa on samat kierteet tangon molemmissa päissä ja liittäminen tapahtuu erillisillä holkeilla. MF-tangossa eli male-female tangossa on uros ja naaraskierteet. MF tangot ovat suosittuja johtuen pienemmistä tehohävikkeistä. Etu saavutetaan, koska MF tangoissa on vähemmän liitoksia kuin holkkiliitoksellisissa tangoissa [4].



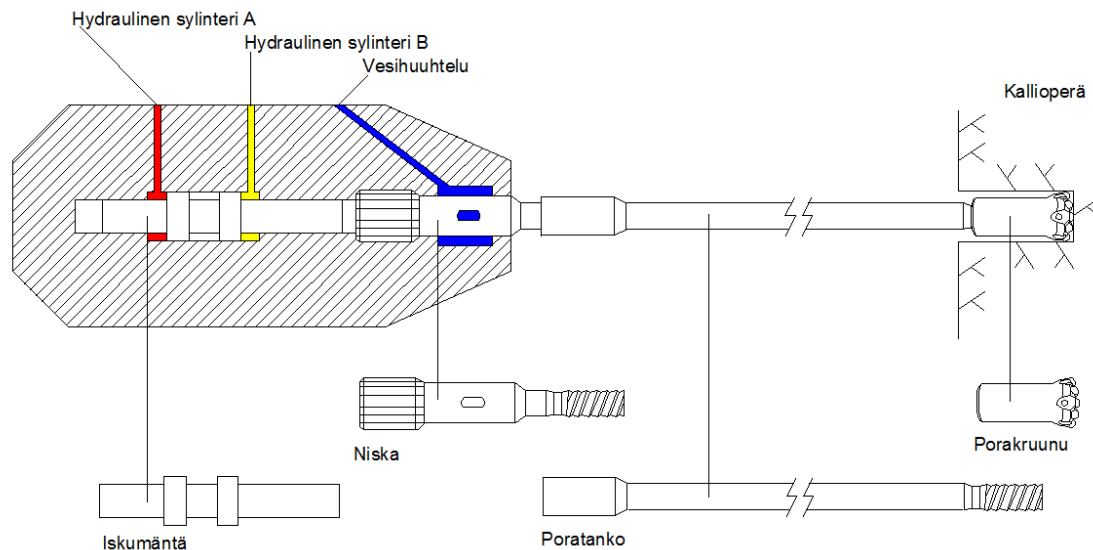
Kuva 13: MF-poratanko (yllä) ja holkkiliitoksellinen poratanko sekä holkki (alla) [10]

Niska on porakoneen sisään asennettava osa, jota porakone pyörittää, iskee ja, jonka läpi huuhteluvesi kulkee poratangon läpi edelleen kruunusta ulos. Niskat ovat porakonetyyppikohtaisia ja ne pitää valita yhteensopiviksi käytössä olevien tankojen kierteiden kanssa.

3.4.2 Porakone

Hydraulinen päältä iskevä porakone saa nimensä poran iskevän osan sijainnista. Nimitys tulee asettelusta, jossa porakone on ennen iskettäviä osia kalliopinnan

ulkopuolella (kuva 14), eikä esimerkiksi porareiän pohjalla. Porakoneen mekaaniset ominaisuudet määrittelevät saavutettavan iskutaajuuden, iskuvoiman sekä pyörityksen. Porakone saa voimansa sähköllä toimivasta hydraulisesta pumpusta. Porakoneessa hydraulikkaöljy liikuttaa niskaa iskevää mäntää edestakaisin sekä pyörittää niskaa. Porakoneen kautta huuhteluvesi johdetaan niskan sisään [11].



Kuva 14: Päältä iskevän hydraulisen kallioporan periaatekuva

3.4.3 Poravaunu

Tunnelityömailla käytettävä poravaunu eli jumbo on tyypillisesti varustettu 2-3 porapuumilla (kuva 15). Poravaunut ovat päävastuussa tunnelihankkeen tunnelien ja hallien reikien poraamisesta. Reikien tuottaminen rikkoihin, kanaaleihin, ahtaisiin paikkoihin ja kuiluihin suoritetaan yleensä muun tyyppisillä poravaunuilla.



Kuva 15: DT1130i porajumbo työmaan jumbohallilla [12]

Liikkumiseen jumbo käyttää dieselmoottoriaan ja poraamiseen sähkömoottoriaan. Tarvittava sähkö saadaan sähköverkosta tai tarvittaessa erillisestä diesel generaattorista. Huuhteluun tarvittava vesi otetaan vesijohtoverkosta.

3.5 Poraustapahtuman automatisoitu tiedonkeruu

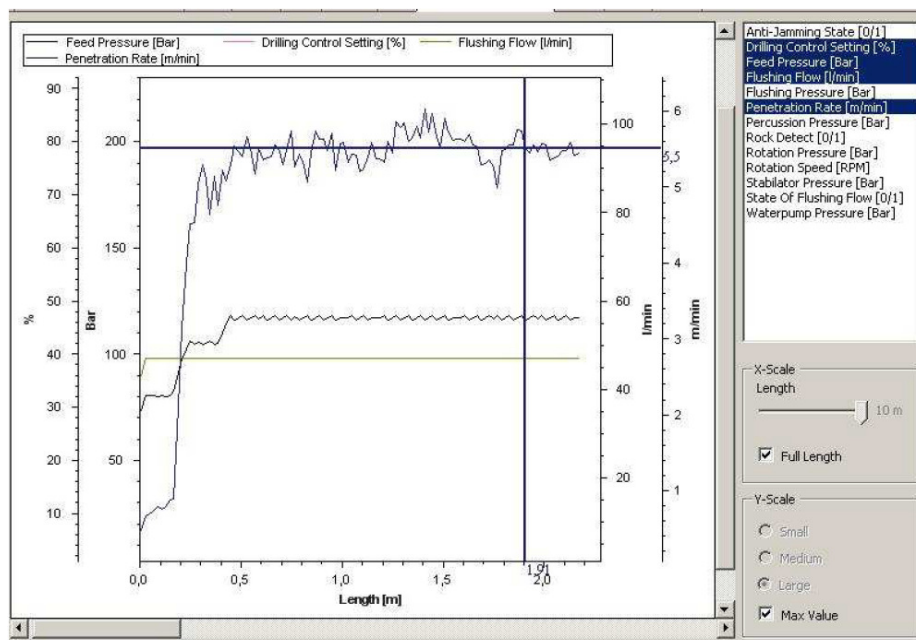
Poraustapahtuman automatisoitu tiedonkeruu mahdollistaa kallioperän ominaisuuksien analysoinnin heti poraamisen jälkeen. Lisäksi se mahdollistaa tarkkailun sen jälkeen, kun pinnat on peitetty ruiskubetonilla. Tiedonkeruu tapahtuu mittaamalla antureilla koneen liikkeitä ja paineita työn aikana. Tieto tallennetaan tiedostoiksi, jotka ovat avattavissa porajumbolle luodulla ohjelmistolla. Tiedon vertailtavuuden parantamiseksi useat laitevalmistajat ovat mahdollistaneet tiedon ulosviennin ohjelmistosta kansainvälisessä standardissa nimeltä IREDES.

3.5.1 Porauksen aikainen mittaus (MWD)

MWD eli Measurement While Drilling suomeksi porauksen aikainen mittaus. Yleisesti MWD yhdistetään kallioperän mallintamiseen. Tämä tapahtuu analysoimalla poraustapahtuman mittaustietoa ja johtamalla siitä kallioperää kuvaava malli. MWD tieto koostuu porakoneesta mitattuihin arvoihin poraustapahtuman aikana (kuva 16).

Porauksen aikaisen tiedonkeruun juuret ovat 1900-luvun alun öljyteollisuudelle kehitetyissä menetelmissä öljynporaukseen liittyen. Vasta tietokoneiden yleistyminen mahdollisti tehokkaan tiedonkeruun ja analysoinnin [13]. CAN-väylä (Control Area Network) ohjaustekniikan myötä tietokoneohjaus yleistyi myös porajumboissa. Tietokoneohjaukseen liittyvien anturien kautta jumbon toimintojen mittaaminen ja tallentaminen mahdollistui. Järjestelmien avulla työn suunnittelun ja tuloksien analysoinnin mahdollisuudet paranevat, kun tiedon keräämiseen ei tarvita ylimääräistä työvoimaa. Vasta kun inhimillinen virhe poistuu tiedonkeruusta ja analysoinnista saadaan MWD:llä tarkkoja tuloksia [13].

Tunnelirakennusprojektissa MWD tieto hyödyntää suunnittelijoita ja urakoitsijoita, jotka voivat käyttää saatua tietoa työnaikaiseen suunnitteluun ja ohjaukseen. MWD mittausten analysoinnin kautta luodut mallit kallioperästä, kivilaaduista tai kallion epäjatkuvuuksista eivät silti ole vielä aukottomia. Epäluotettavuus johtuu työhön liittyvistä häiriötekijöistä ja niiden tulkinnasta. Yksi esimerkki MWD tiedon mittauksen häiriötekijöistä on porakangen kontaktista porareian seinään aiheutuneet muutokset pyörityspaineessa [8].



Kuva 16: Porareian MWD arvojen kuvaajia iSuressa [14]

Tarkkuus, johon porajumbojen MWD järjestelmät kykenevät on kivilajin selvä vaihtumisen tunnistaminen sekä kallion epäjatkuvuusalueiden eli lustien tunnistaminen. Mittaukseen liittyvien epätarkkuuksien poistaminen on haastavaa etenkin kallioperän epähomogeenisen luonteen johdosta.

MWD:tä voidaan käyttää suhteellisen luotettavan mallin luomiseksi kallioperästä. Eräissä tutkimuksissa ongelmana on kallioperän lujuuden arviointi, kun menetelmä ei kyennyt erottamaan graniittia ja kalkkikiveä [15]. Tutkimuksen mukaan tarkin yksittäinen tunnusluku kallion lujuuden ilmaisemiseen on tunkeutumisnopeus [16]. Kivilajien tunnistaminen tilastotieteiden avulla useamman mitatun MWD suureen lineaarista regressiomallia käyttäen on mahdollista, mutta vain hyvin kivilaji erottuu kunnolla muista. Muut kivilajit sekoittuvat keskenään [17]. Toimiakseen MWD mittausjärjestelmä tulee aina kalibroida *in situ* [13].

Alla on lueteltu seitsemän MWD muuttujaa, joita on käytetty kallioperän analysoimiseksi lineaarisissa regressiomallissa [17]:

1. iskunpaine
2. syöttöpaine
3. pyörityspaine
4. pyöritysnöpeus
5. huuhteluvirtaus
6. iskutaajuus
7. tunkeutumisnopeus

Kallioperän mallintamisen lisäksi MWD tietoa voidaan käyttää myös muihin käyttötarkoituksiin kuin kallioperän mallintamiseen. Käyttämällä tietoa reaaliaikaisesti MWD:n kautta on saavutettavissa kustannus säästöjä ja laadun parantumista louhinnassa. MWD ei kuitenkaan anna absoluuttista totuutta kallioperän ominaisuuksista [13].

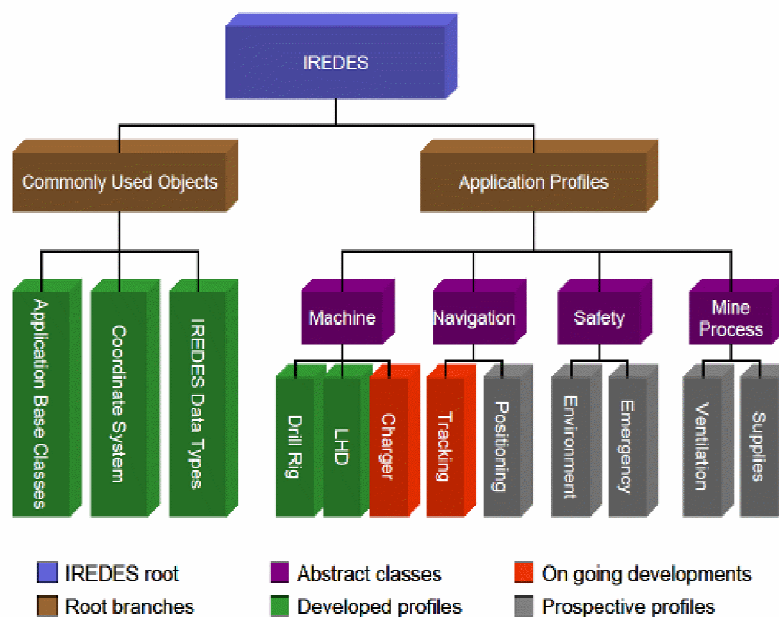
MWD tiedon käyttökohteet [17]:

1. Kenttäspesifikaatiot
2. Kaluston ja laitteiden kunnonvalvonta
3. Porauksen optimoinnin ja säädön tuki
4. Rahamittarit
5. Ympäristö-, terveys- ja turvallisuusmittarit

3.5.2 IREDES standardi

IREDES eli International Rock Excavation Data Exchange Standard on kaivosteollisuuden yritysten yhteinen standardi. Standardi määrittelee työkoneelta tulostettavan tiedon muotoilun ja koodin. Tämä mahdollistaa eri valmistajien koneiden tuottaman tiedon vertailun ilman erillistä muokkausta [18].

XML (External Markup Language), johon IREDES perustuu, on merkitäkieli tai standardi, jolla tiedon merkitys on kuvattavissa tiedon sekaan. XML-kieltä käytetään sekä formaattina tiedonvälitykseen järjestelmien välillä, että dokumenttien tallentamiseen. XML-kieli on rakenteellinen kuvauskieli, joka auttaa jäsentämään laajoja tietomassoja selkeämmin [19].



Kuva 17: IREDES standardin käyttökohteet ja suunnitteilla olevat laajennukset [18]

IREDES standardin ensimmäinen kehitetty osa oli poraukseen liittyvän tiedonkeruun standardointi. Sitten standardiin on liitetty myös lastaukseen liittyvä tiedonkeruu. Nyt kehitteillä on panostuksen ja työkoneiden seurannan lisääminen standardin piiriin. Näiden lisäksi mahdollisina kehitysalueina pidetään mm. turvallisuuteen ja tuuletukseen liittyviä osia (kuva 17).

Liitteessä 1 on esitetty IREDES standardin mukaisesti tuotetun katkon yhden reiän XML tiedosto. Liitteen lyhentämiseksi tiedostosta on poistettu yhdeksän sivua MWD reikätieta. Tiedostoon on jätetty kaksi riviä esimerkiksi siitä, miltä tiedon rakenne näyttää. Liitteessä 2 on esitetty mitatut poraus- ja MWD tiedot, jotka löytyvät IREDES standardin mukaisesti tuotetuista tiedostoista.

3.6 Porari

Porari on porajumbon käyttöön erikoistunut työntekijä. Tärkein syy erikoistuneen työvoiman käyttöön on porauksen suuri vaikutus työmaan tehokkuuteen ja syntyviin kustannuksiin. Epäpätevään porariin ei ole varaa.

Työmaan eri tahoilla on omia tarpeita määrittellä hyvä porari. Kehittyäkseen paremmaksi, tulee porarin kehittyä näiden tahojen määrittelemissä raameissa. Työmaan johdolle on tärkeää, että porari on tehokas ja työ laadukasta. Heille porarin työ näkyy tunteina, kuutioina ja katkoina. Panostajalle ja injektointimiehistölle on tärkeää, että porari osaa kuvailla poratun kallioperän ominaisuudet. Tarpeellista tietoa ovat kallioperän epäjatkuvuudet eli lustat sekä kallion kivilaadun karkea määrittely [2].

Porariksi opitaan työn ohella kokeneemman porarin apumiehenä toimien. Kehittyminen vie aikaa, sillä porarin tulee osata muutakin kuin vain porata nopeasti (taulukko 5). Yleensä jumboporariksi koulutettavilla henkilöitä on valmiiksi vahva osaaminen koneiden huollosta ja esim. panostajana toimimisesta tunnelityömaalla. Vahva käsitys työmaan toiminnoista auttaa työntekijää ymmärtämään työnsä arvon ja merkityksen työmaalle.

Taulukko 5: Porarin ominaisuudet

Nopeus -kulutusosien vaihtaminen ajoissa -oikeat porausasetukset -ohjauslaitteiden hallinta -reikien aloittaminen kaikilta pinnoilta -reikien porausjärjestyksen optimointi -puomien käyttöasteen ylläpito
Tarkkuus -reikien aloittaminen kaikilta pinnoilta -oikea porausteho reiän eri vaiheissa -poraaminen vain riittävän terävillä kruunuilla
Huolto -huollon suunnittelu etukäteen -huollon toteuttaminen suunnitellusti -riittävän kulutusosien resurssien varaaminen työvuorolle -koneen kunnan jatkuva tarkkailu

Porareiden koulutuksen avuksi käytetään myös simulaattorikoulutuslaitteita, joilla mallinnetaan poravaunun toimintoja. Simulaattorit hyödyntävät vaunun aitoja ohjauslaitteita yhdistettynä projektoriin ja tietokoneeseen. Pohjois-Karjalan Aikuisopiston Kalliorakentajakurssi käyttää Sandvikin SimDrilleriä (kuva 18). Simulaattoriharjoittelun lisäksi koulutettavat harjoittelevat aidoissa olosuhteissa oikeilla DX780 vaunuilla. Kyseinen vaunumalli on myös simulaatiossa esiintyvä vaunu. Simulaattorilla saavutettavat hyödyt näkyvät kustannuksissa ja turvallisuudessa, tällöin ei kulu polttoainetta tai varaosia ja harjoittelu suoritetaan sisätiloissa. Täten voidaan myös poistaa häiritseviä tekijöitä harjoittelusta, kuten pakkanen [20].



Kuva 18: Sandvik SimDriller [21]

Vaikeimpiin työmaalla opittaviin asioihin lukeutuu kallioerän porauksen aikainen tulkinta. Porarin suorittama kallioerän havainnointi perustuu poralaitteen käyttäytymiseen, kaluston kulumiseen ja porareiästä huuhteluveden mukana ulos tulevan kiviaineksen tarkkailuun. Näitä seuraamalla on mahdollista kuvailla kiven ominaisuuksien vaihtelua, kuten kovuutta ja rikkonaisuutta. Perinteisesti poraamisesta jää jälkeen vain porarin suullinen raportti kallioerässä sijaitsevista kivilajin vaihteluista. Louhinnan jälkeen voidaan tarkastella syntynyttä kalliopintaa ja mahdollisesti seinämiin jääneitä reunareikien puolikkaita.

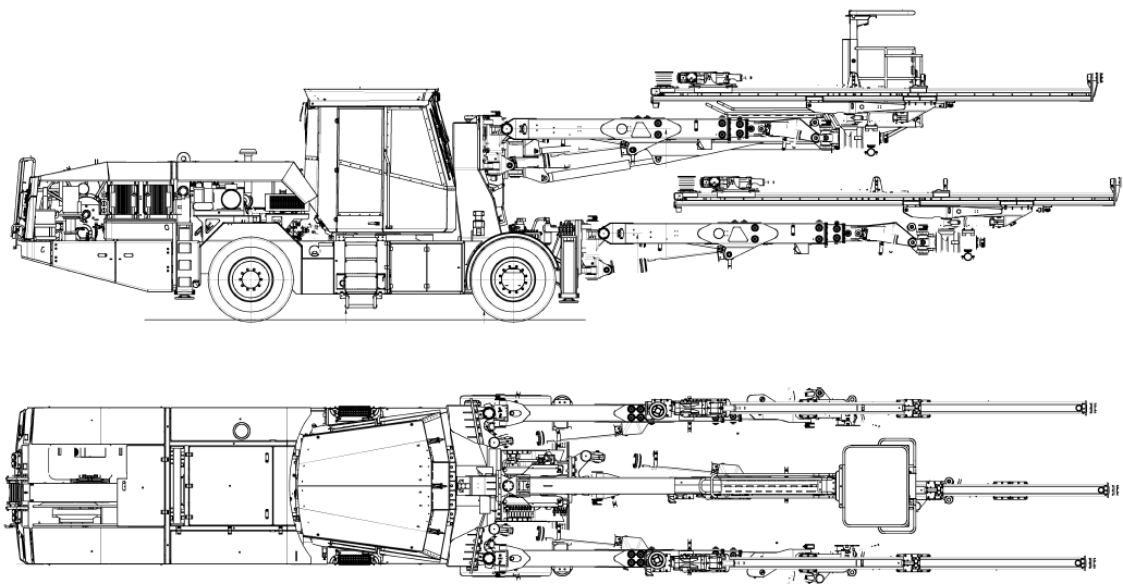
Porarin keräämää tietoa kallioerästä käytetään panostuksen, lujituksen ja injektoinnin suunnittelussa. Jos porari ei osaa arvioida kallioerää, jää tämä tieto keräämättä ja hyödyntämättä. Tiedonkeruun automatisointi auttaa tiedon hyödyntämisessä, mutta vain mikäli tieto analysoidaan ja siitä tuotetut raportit luetaan.

4 Mittausjärjestelyt

Tutkimuksen mittaukset suoritettiin Kalliorakennus-Yhtiöt Oy:n työmaalla Lauttasaarella vuosina 2011-2012. Työmaa on ollut osa Länsimetrohanketta ja Kalliorakennus-Yhtiöt Oy:llä on työmaalla ollut käytössä Sandvik Mining and Construction Oy:n valmistama DT1130i tunnelijumbo.

4.1 Porajumbo

Työssä hyödynnettiin Sandvikin DT1130i porajumboa (kuva 19). Se on varustettu neljällä hydraulisella puomilla, joista kolmessa on 75 kW HFX 5 T hydrauliset päältä iskevät iskuporakoneet ja yhdessä on kori. Jumbo pystyy poraamaan 20-177 m² katkoja ja käyttää 5,8m pitkiä poraustankoja [14]. Jumboa käytettiin työmaalla louhinta-, lujitus- ja injektointireikien poraamiseen.

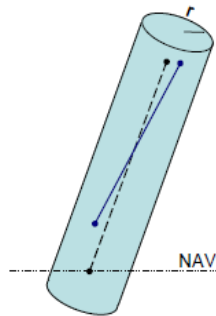


Kuva 19: Sandvik DTi1130 porajumbo [22]

Poranterän sijainnin automaattinen paikantaminen kalliopinnassa ennen porauksen aloittamista tapahtuu 5cm halkaisijaltaan olevan ympyrän tarkkuudella. Tämä koskee tehtaalta lähtevien laitteiden tarkkuutta ja sisältää laitteen asemointi tarkkuuden. Mittaukseen liittyvä epätarkkuus muodostuu eri anturien mittaustarkkuuksista. Ajan myötä osat kuluvat ja mittaustarkkuus heikentyy. Laite on kalibroitu työmaalla

tarvittaessa. Erillistä käyttötuntimäärää kalibrointivälille ei ole määritelty ja laitevalmistaja suosittelee uudelleen kalibroinnin suorittamista tarvittaessa [23].

DTi jumbolla poratessa katkojen suunnittelu alkaa porareikien pohjien sijainneista. Samoin myös reikien suuntaaminen perustuu reikien pohjien sijaintiin. Reiän suuntaus tapahtuu aina reiän pohjan koordinaatteja kohti, riippumatta porareian aloituspisteestä tunnelin perässä. Tämä tapahtuu jumbon automatiikalla, jossa hyödynnetään jumbon puomien antureista kerättyä tietoa reiän lähtöpisteestä, suuntauksesta ja kallistuksista. Näitä arvoja käytetään edelleen poratangon painovoimasta aiheutuvan taipuman mallintamiseen. Liiallisesta syöttövoimasta ja kallioperän epäjatkuvuuksista johtuvaa taipumaa jumbo ei pysty mittaamaan, eikä täten korjaamaan.



Kuva 20: Reiän toteuman toleranssi [14]

Kokemukset työmaalta osoittavat reiän suuntaukseen liittyvän automatiikan toimivan hyvin. Silti tulee muistaa, että porajumbon näytöllä näkyvä reiän eteneminen ei ole ehdoton totuus. Halutessaan porari voi asettaa suuntaukselle pienemmän toleranssin. Toleranssi on jumbon mallintama lieriö suunnitellun porareian ympärille (kuva 20). Kuvassa kiinteä viiva esittää toteutunutta porareikää ja katkoviiva suunniteltua. Jos jumbo havaitsee toteutuvan porareian alku- tai loppupisteen sylinterin ulkopuolella, kone varoittaa poraria toleranssien ylittymisestä.

DT1130i on varustettu porausautomatiikalla, joka mahdollistaa automatisoidun porauksen kallion epäjatkuvuusvyöhykkeiden eli lustien lävitse. Työmaalla lusta-automatiikkana tunnettu toiminto muuttaa porakoneen toimintoja jumbon tulkitessa porakruunun kohdanneen lustan.

4.2 Tiedonkeruuohjelmisto

iSure (intelligent Sandvik Underground Rock Excavation) on Sandvikin kehittämä ohjelmisto poravaunujen käyttöä varten. Ohjelmistolla voidaan suunnitella työmaan poraus- ja panostuskaaviot. Sen lisäksi että ohjelmistolla voidaan tuottaa suunnitelmia, sillä voidaan myös tulkita poraustapahtuman aikana kerättyä tietoa.

iSure koostuu neljästä moduulista: iSure Tunnel, iSure Report, iSure Analysis ja iSure Bolting. iSure Tunnel moduuli sisältää poraus-, pitkäreikäporaus- ja räjäytyskaavioiden suunnittelutyökalut. Moduulilla muokataan myös tunnelin linjaa ja projektin tiedostoja. iSure Report moduulilla tuotetaan raportit porauksesta ja projektin edistymisestä. iSure Analysis moduulilla analysoidaan porauksesta kerättyä MWD tietoa. Analysointityökalulla tuotettu tieto voidaan tuoda taulukkolaskenta ohjelmistoon tulkittavaksi *.csv tiedostoina tai IREDES standardin mukaisina *.xml tiedostoina. iSure Bolting moduulilla suunnitellaan pultinporauskaaviot [14].



Kuva 21: Näkymä DT1130i jumbon hytistä ja porarin käyttöliittymästä [24]

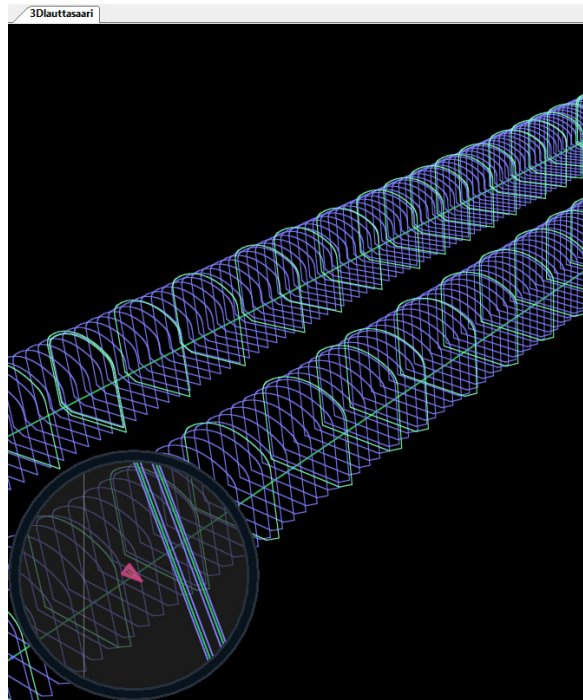
Porarilla on jumbon hytissä käytössään oma versio ohjelmistosta (kuva 21). Hytin päätteellä on työkalut jumbon toimintojen tarkkailuun, poraamiseen, suunnitelmien selaamiseen ja edellisten poraustapahtumien näyttämiseen ruudulta. Hytin ohjelmistolla ei voi muuttaa suunnitelmia tai tuottaa uusia.

4.3 Porarit

Työn poraustapahtumat tuottaneet porarit ovat Kalliorakennus-Yhtiöt Oy:n työntekijöitä. Työn tavoite päästä vertailemaan useiden porarien työsaavutuksia yhdellä jumbolla saatiin toteutettua. Kaksi porareista oli työmaan vakituisia työntekijöitä ja yksi lomatuuraajana toiminut. Kaikilla porareilla oli vuosien työkokemus jumbolla poraamisesta. Porarina toimimisen lisäksi heillä oli työkokemusta panostajana tai remonttina toimimisesta. Poraus- ja MWD-tiedon lisäksi porareilta saatiin ajatuksia ja ehdotuksia tämän työn avuksi.

4.4. Työmaa

Tämän työn porausaineisto kerättiin Länsimetron Lauttasaaren työmaalta, jossa Kalliorakennus-Yhtiöt Oy toimi pääurakoitsijana. Jotta kerättyä aineistoa voitaisiin hyödyntää tässä työssä, tuli porattujen katkojen olla mahdollisimman vertailukelpoisia keskenään. Täten oli tärkeää, että kaikki vertailtavat katkot oli porattu samalla porauskaaviolla. Myös katkon reikäpituuden tuli olla sama porausaikojen vertailua varten. Tutkittavaksi kohdiksi valittiin eteläinen ja pohjoinen ratatunneli ja niissä poratut katkot (kuva 22). Katkoista poimittiin tutkittavaksi saman porauskaavion omaavat katkot ja näistä edelleen karsittiin mahdolliset poikkeukset. Poikkeuksia saattoivat olla esimerkiksi katkon yhteydessä poratut tunnustelureiät. Kuvassa sininen viivasto esittää tunnelin teoreettista mallia, turkoosit tiedonkeruutapahtumien sijaintia tunnelissa. Jumbo asetettiin keräämään poraus- ja MWD-tietoa vain poratun katkon uloimmista rei'istä, eli reunarei'istä. Vasta myöhemmin havaittiin, että kaikki kentän reiät olisi kannattanut tallentaa MWD muodossa.



Kuva 22: Kuvankaappaus iSuresta, kuvassa eteläinen ja pohjoinen ratatunneli. Vaaleat profiilit ovat katkojen alkupisteitä ja tummat metrin välein mallinnettua tunnelia.

Vasemmassa alakulmassa on sijaintityökalu näkymän suunnan ja sijainnin hahmottamisen helpottamiseksi.

5 Raportointijärjestelmä

Tämän työn tarkoituksena oli selvittää, kuinka jumbosta kerättyä tietoa voitaisiin soveltaa porarin ammattitaidon kehittämiseksi. Kokemukset porajumbon kautta saatavista valmiista raporteista osoittivat, etteivät nämä raportit palvelleet tämän työn tarkoituksena. Ratkaisuksi tehtiin selvitystyö saatavilla olevista vaihtoehtoista tiedon hyödyntämiseksi. Selvitystyön perusteella aloitettiin uuden raportointijärjestelmän tuottaminen. Työn kautta syntynyt raportointijärjestelmä koettiin toimivaksi, joskin kaikkia tavoitteita ei saavutettu.

Raportointijärjestelmän kehittäminen aloitettiin muodostamalla kuva porarin ammattitaidon kannalta tarpeellisista tiedoista sekä työmaalla suoritettavan raportin tulostamisen ja tulkinnan asettamista teknisistä rajoitteista. Näiden tietojen perusteella selvitettiin poraus- ja MWD-tiedon hyödyntämisen vaihtoehdot saatavilla olevista tiedostomuodoista. Lopuksi valittiin yksi vaihtoehto, jonka perusteella ohjelmoitiin raportointijärjestelmä. Raportointijärjestelmää testattiin analysoimalla sillä 62 porattua katkoa.

5.1 Raportointijärjestelmän tavoitteet

Raportointijärjestelmän pohjaksi luotiin tavoitteet. Tavoitteissa käytiin läpi ne asiat, jotka haluttiin mukaan lopulliseen tuotokseen. Tavoitteet olivat myös tarkastelun pohjana selvitettäessä raportointijärjestelmän käyttöön parhaiten soveltuvaa tiedostomuotoa, jota porajumbon tiedonkeruujärjestelmä tarjosi.

Kokemukset monisivuisista raporteista, jotka koostuivat lähinnä taulukoista ja piirakkadiagrammeista, kannustivat kehittämään kuvalliseen viestintään painottuvan yksisivuisen raportin. Raportin perustana oli tarve tukea porarin kehittymistä. Tukemisen mahdollistamiseksi mietittiin mitä asioita, ja miten, raportin tulisi esittää. Tulevan raportin keskeisiksi tekijöiksi valittiin lopulta porauksen tehokkuus ja laatu sekä kallioperän kuvailu.

Kuva porauksen tehokkuudesta muodostuisi reikien porausnopeudesta, katkon reikien tuottamiseen kuluvasta ajasta sekä porauskaluston käsittelystä reikien välillä.

Tehokkuuden esittämiseen käytettäisiin saatavilla olevia ajallisia kestoja. Porauksen laatu muodostuisi poraustarkkuudesta. Laatu perustuisi suunniteltujen ja toteutuneiden reikien sijaintitiedon vertailuun. Kallioperän kuvailu tarkoittaa kykyä kuvailla porattua kalliomassaa porauskalustosta saatuihin havaintoihin tukeutuen. Tähän tarvittaisiin MWD tietoa poratuista reistä.

Raportin teknisiä vaatimuksia ohjasi etenkin tarve tuottaa työmaaolosuhteisiin yhteensopiva raportointijärjestelmä. Vaikka työmaiden toimistojen tekniikka kehittyikin jatkuvasti, on silti asioita, joissa työmaaparakkien olosuhteet eivät ole toimistotalojen tasolla. Tietotekniseltä kannalta tavoitteeksi asetettiin tarve pystyä käyttämään raportointijärjestelmän luomia tiedostoja millä tahansa tietokoneella. Toisin sanoen tiedostojen tulisi olla yleisesti avattavissa olevia tiedostoformaatteja. Raportointijärjestelmän käyttämisen tulisi olla helppoa, eikä vaatia esimerkiksi komentotulkkien käyttämistä ohjelman ajamiseksi koneella. Raportointijärjestelmän raporttien käyttämiseksi raporttien tulisi olla tulostettavissa A4 paperiarkeille mustavalkoväriskaalassa. Vaatimus värien suhteen tehtiin, ettei värillisen raportin tulostamisesta mustavalkoiseksi syntyisi tulkintavirheitä. Raportin tulkitsemisen kannalta päätettiin, ettei 3D kuvia käytettäisi lainkaan. 3D kuvien ongelmana on kuvien tulostaminen paperille. Toteutettu kuvakulma on kompromissi siitä, mitä esitetään ja mitä ei.

5.2 Tiedonkeruuohjelmiston soveltamisen mahdollisuudet

Tässä työssä käytetyn iSure ohjelmiston avulla poraustiedon kerääminen ja esittäminen helpottuvat huomattavasti. Ohjelmisto ei kuitenkaan analysoi kerättyä tietoa vaan keskittyy tiedon esittämiseen. Käyttäjän halutessa analysoitua tietoa poratuista rei'istä tulee analysointi suorittaa itse. Tämän työn tarkoituksena on selvittää, kuinka tämä analysointi on tehtävissä porarin kehittymisen hyväksi.

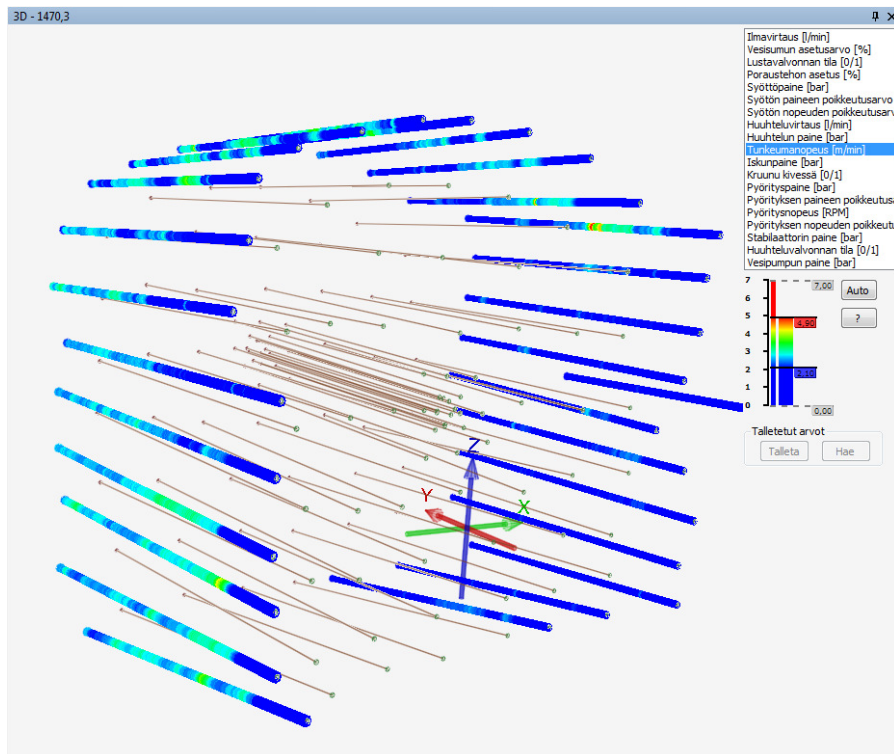
iSuerassa poraus- ja MWD tieto on esitettävissä viidellä tavalla. Nämä ovat tietokoneen ruudulta iSuerassa, tekstinkäsittelyohjelmassa, taulukkolaskentaohjelmassa, IREDES standardin mukaisesti tuotettuja tiedostoja hyödyntävässä ohjelmassa tai jumbon tuottamia *.dcl tiedostoja hyödyntävässä ohjelmassa. Jokaisesta tavasta löytyy omia vahvuuksia ja heikkouksia. Eri vaihtoehdoista saatavat tiedot on listattu liitteessä 2.

Tiedostoissa oli muutamia muuttujia, joista järjestelmä ei kerännyt arvoja. Poraustiedoissa järjestelmä ei kerännyt tietoa esimerkiksi Control Methodista eli siitä ohjasiko puomia kone vai käyttäjä. MWD-tiedoissa keräämättä jääneet tiedot liittyivät avolouhintavaunujen ilmahuuhteluun ja eri muuttujien poikkeutusarvoihin. Poikkeutusarvoista ei kerätty tietoa, koska tiedot käsiteltiin iSuren päivitetyllä versiolla tiedonkeruu tietojen ollessa luotu DTi jumbolla, jossa oli vanhempi versio käyttäjärjestelmästä.

5.2.1 iSure tietokoneen näytöltä

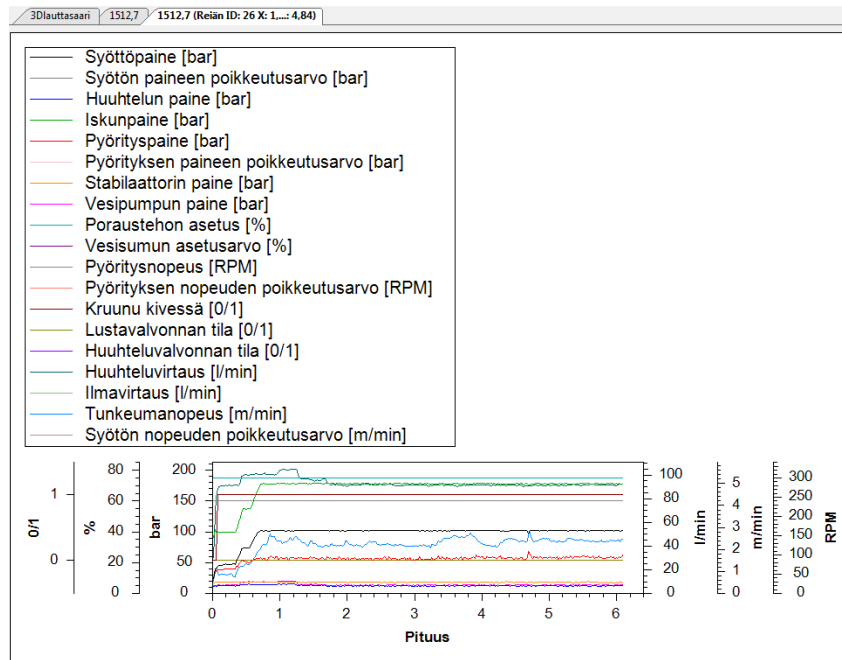
Poraustiedon esittäminen iSuressa tapahtuu joko reikä-, puomi- tai katkokohtaisesti. Reikäkohtaisesti tieto on esitettävissä joko 3D projektiona tai 2D kuvaajina. Reikä tiedon lisäksi on saatavilla tietoa kaluston käytöstä ja huollosta.

3D projektioissa reikä tieto esitetään kolmiulotteiseen avaruuteen visualisoidulla reiällä, jossa poraustiedon arvojen vaihtelut esitetään väriskaalalla (kuva 23). Väriskaalan tarkoitus on visualisoida tarkasteltavan MWD muuttujan arvo kyseisessä pisteessä. Väriskaala määräytyy katkon kaikkien reikien suurimman ja pienimmän arvon mukaan. Skaalassa käytetään kaikkia spektrinvärejä sinisestä punaiseen. Käyttäjä voi asettaa väriskaalan haluamalleen asetuksille korostaakseen jotain yksityiskohtia. Esittämällä useamman reiän kerrallaan saadaan muodostettua silmämääräinen yhteys viereisten reikien kesken. Huomattakoon, että kallioperän arvioinnin iSure jättää ohjelman käyttäjälle. 3D projektioita ei ole *.doc raporteissa tarjolla.



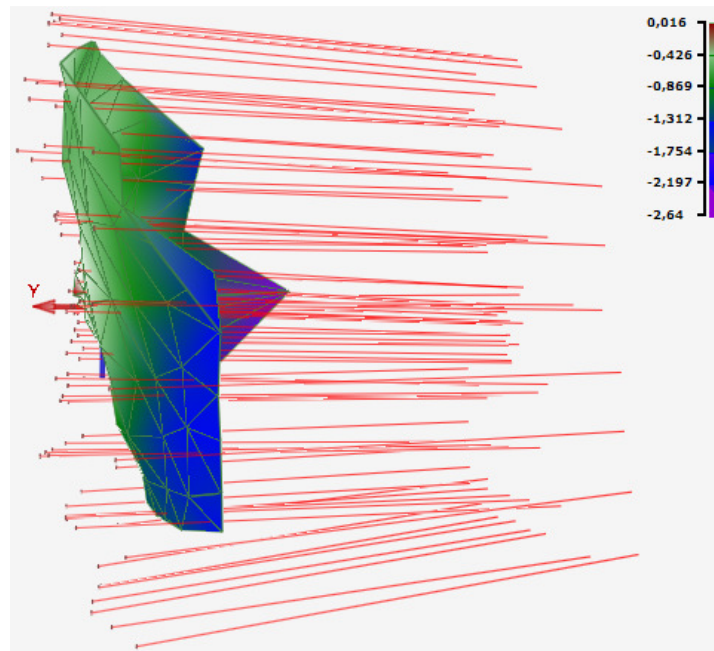
Kuva 23: Porareikien tarkastelu 3D tilassa, paksummissa reissä MWD tieto esitettynä, harmaat viivat esittävät reikiä, joista MWD tietoa ei ole saatavilla.

2D esityksissä MWD tieto esitetään kuvaajina (kuva 24) ja poraustieto taulukoina tai pylväs- ja piirakkadiagrammeina (kuva 28). Yhdessä esityksessä esitetään yhden reiän valitut kuvaajat. Nämä esitystavat soveltuvat hyvin yksittäisen reiän yksityiskohtaiseen tarkasteluun. Katkon ominaisuuksien tarkkailuun soveltuvat lähinnä pylväs- ja piirakkadiagrammit. Näissä tarkasteltavat arvot ovat keskiarvoja ja antavat täten yleisemmän kuvan toteutuneesta katkosta.



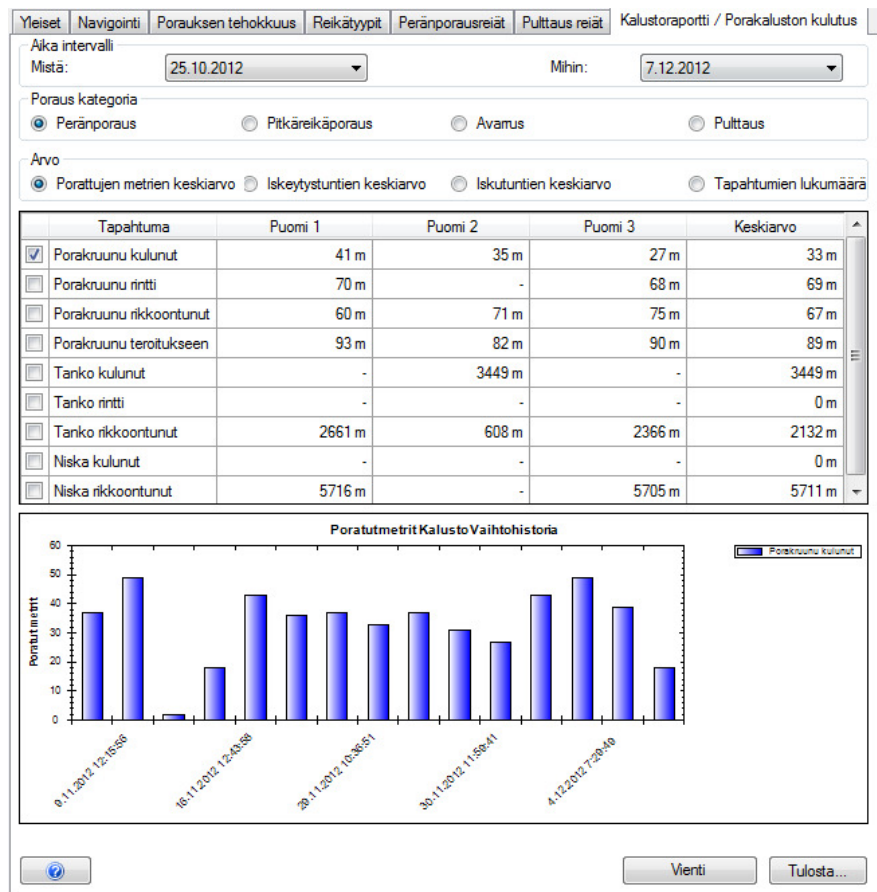
Kuva 24: Reikäkohtainen tieto kuvaajina iSuressa

Lähteveysanalyysityökalu iSuressa (kuva 25) vertailee kahden peräkkäisen katkon toteutuneita pisteitä keskenään. Työkalu on erityisen hyödyllinen louhintatyön ohjauksessa ja valvonnassa. Vertailussa edellisen katkon porareikien pohjia verrataan seuraavaksi poratun katon porareikien aloituspisteisiin. Vertailun kautta saadaan hyvä kuva louhinnan onnistumisesta louhintajäljen perusteella. Työkalun näkymässä punaiset viivat esittävät katkon porattuja reikiä ja väritetty 3D pinta seuraavan katkon reikien aloituspisteistä muodostettua pintamallia. Pinnan väriskaala esittää sen onko pinta yli- vai alilouhittu suunniteltuun pintaan nähden. Ongelmat esimerkiksi pohjapanoksen kanssa näkyvät kynsinä perässä. Reunareikien taipuman tulkinta voi olla mahdollista, mutta katkon pistosta johtuen vertailtava pinta kattaa vain seuraavan katkon porareikien aloituspisteiden kattaman alueen. Tällöin reunareivät jäävät tarkasteltavan alueen ulkopuolelle. Lähteveysanalyysityökalu ei ole tulostettavissa *.DOC tiedostoon.



Kuva 25: Lähtevyysanalyysityökalu, jossa pinta kuvaa seuraavan katkon toteutuneita aloituspisteitä ja punaiset viivat edellisen katkon toteutuneita porareikiä

Poraustiedon lisäksi voidaan esittää porarin ylläpitämä kalustoraportti (kuva 26). Tässä esitetään porakruunujen, tankojen ja niskojen kulutus. Tarkastelu tapahtuu valitulla aikavälillä ja se on jumbokohtainen. Tarkempi analysointi on mahdollista viemällä tiedot *.csv muodossa taulukkolaskentaohjelmistoon.



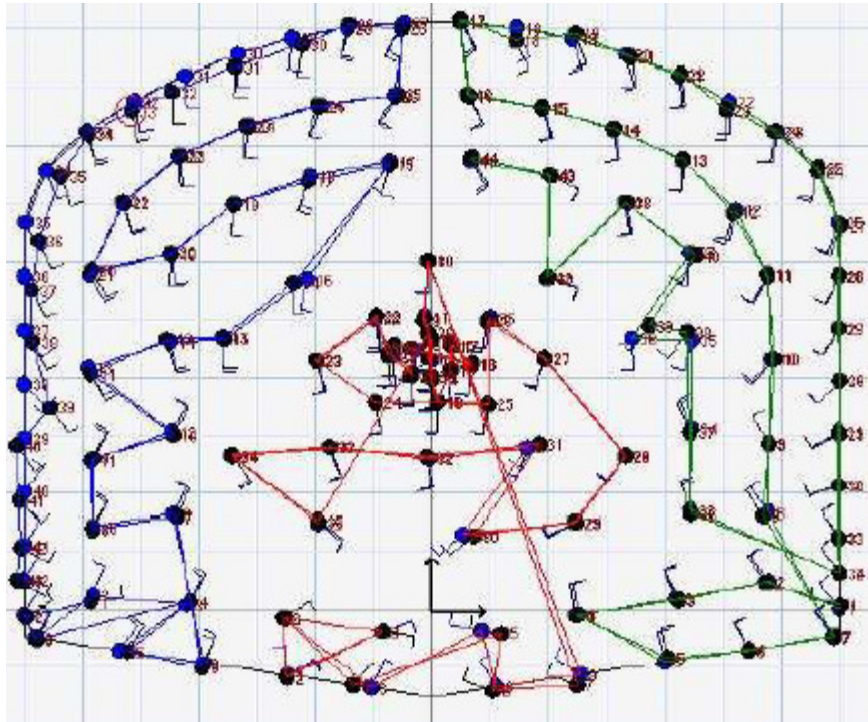
Kuva 26: iSuren kalustoraportti

5.2.2 iSuren *.doc raportit

iSuresta tuotetut *.doc raportit sisältävät miltei kaiken mitä voidaan esittää myös näytöltä. Aivan kaikkea raportteihin ei automaattisesti tuoda johtuen esitystavasta 3D kuvien paperilla esittämisen haasteista. *.doc päätteiset tiedostot ovat avattavissa esimerkiksi Microsoftin Word tekstinkäsittelyohjelmistossa ja sieltä ne ovat edelleen tulostettavissa paperille tai *.pdf tiedostoiksi.

Tuotetut raportit ovat lähtökohtaisesti useita kymmeniä sivuja pitkiä. Suurin osa sivuista syntyy kerätyn poraus- ja MWD tiedon esittämisestä. MWD tieto voidaan esittää reikäkohtaisina kuvaajina, joissa mitatut muuttujien kuvaajat on jaettu kahteen kuvaan. Kunkin reiän esittäminen vie yhden sivun. Tämän lisäksi raportti sisältää useita sivuja taulukoita reikien paikkatiedosta.

Puomien liikuttamisen tarkastelua varten raportissa on kuvat reikien sijainneista ja poraussekvensseistä eli porausjärjestyksestä (kuva 27). Reikien suunniteltuja sijainteja vertaillaan toteutuneisiin. Vertailu tapahtuu sekä porareikien pinnassa että pohjalla. Poraussekvensseissä tarkastellaan porarin valitsemaa reikien porausjärjestystä. Sekvenssien yhteydessä esitetään myös roll-over kulmat eli porapuomien pituusakselin ympäri pyörivän akselin kulma.

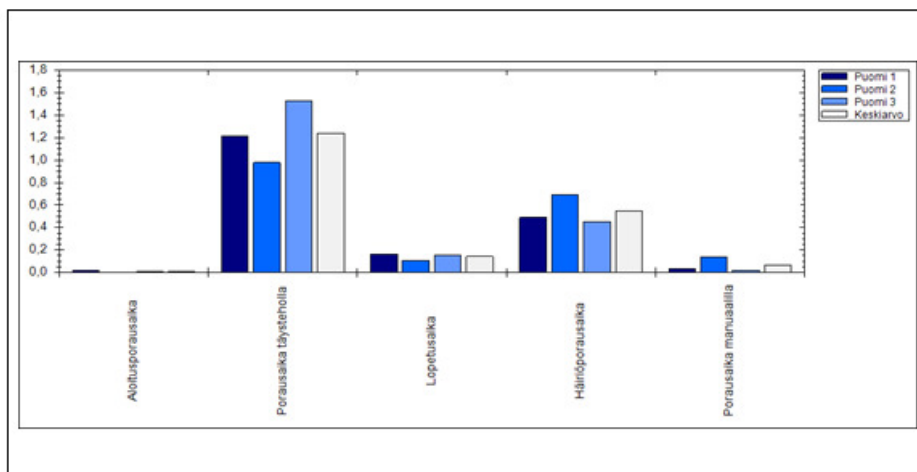
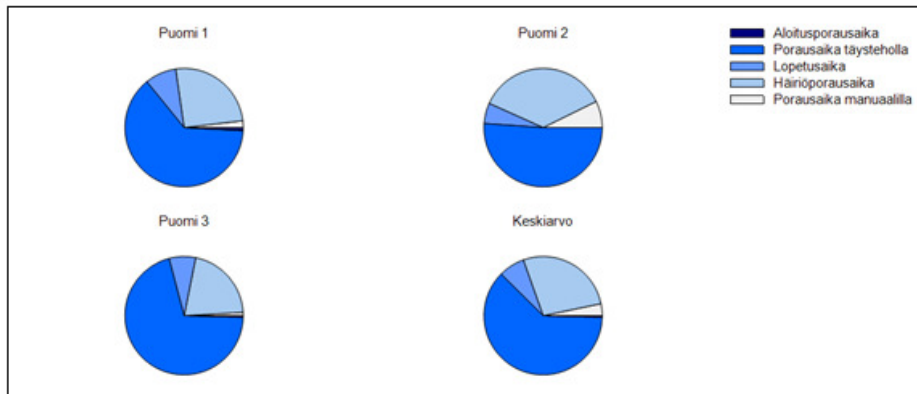


Kuva 27: Katkon porauskaavio. Kuvassa on esitetty puomikohtaiset porausjärjestykset, puomien roll-over kulmat sekä reikien sijainnit. Vaihtoehtoisesti saatavilla on myös porauskaaviot joissa esitetään yksinään reikien sijainnit porareikien pohjalla tai pinnassa.

Työn tehokkuuden arviointia varten raportissa esitetään toteutuneita aikoja ja määriä katko-, puomi- ja porakonekohtaisesti (kuva 28). Toteutuneet arvot esitetään piirakka- ja pylväsdiagrammeihin sekä taulukoissa.

Porausaika

	Puomi 1	Puomi 2	Puomi 3	Summa	Keskiarvo
Aloitus [h]	0:01	0:00	0:00	0:01	0:00
Täysteho [h]	1:13	0:59	1:32	3:43	1:14
Lopetus [h]	0:10	0:06	0:09	0:26	0:09
Häiriö [h]	0:29	0:41	0:27	1:38	0:33
Manuaali [h]	0:02	0:08	0:01	0:12	0:04
Summa [h]	1:55	1:55	2:10	6:00	2:00



Kuva 28: Poraukseen kuluva ajan jakautumisen esittäminen iSure raportissa.

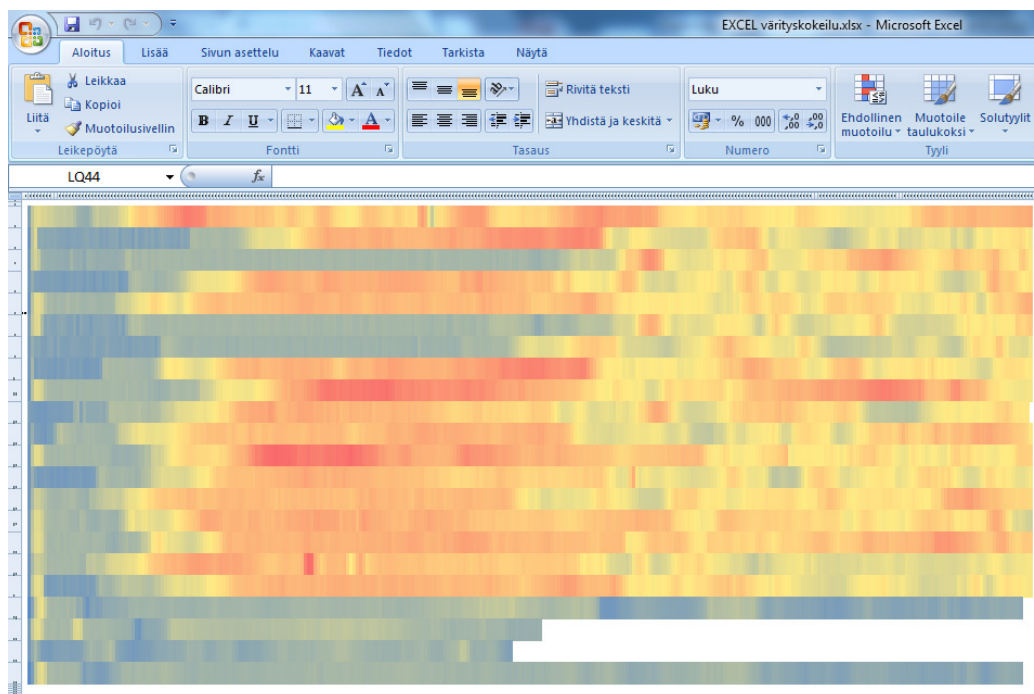
5.2.3 Poraus- ja MWD tieto taulukkolaskentaohjelmassa

Tiedonkeruutiedot on vietävissä *.csv (Comma Separated Values) tiedostoiksi, jotka ovat avattavissa esimerkiksi Excel taulukkolaskentaohjelmistossa. Poraus- ja MWD-tieto tuodaan iSuresta ulos omina tiedostoinaan. Poraustiedot sisältävä tiedosto sisältää tiedot reikien sijainneista ja puomien liikkeistä, suunnitelluista sekä toteutuneista. MWD tiedosto taas sisältää samat tiedot kuin IREDES standardikin.

Kun tieto tuodaan taulukkolaskentaohjelmaan, on kaikki tieto jaettu yhdelle pystyriville. Vaakariveillä on yhden tallennuspisteen tiedot yhdestä porareistä. Tietoa poratusta reiästä tallennetaan 2 cm välein. Jotta tieto olisi käytettävissä, tulesi tiedot jakaa

ruutuihin. Tämän jälkeen jokaisen reiän kaikki tiedot ovat yhdellä välilehdellä päällekkäin. Jakamalla tiedot reikäkohtaisesti omille välilehdilleen, mahdollistuu tiedonkäsittely yksinkertaisilla kaavoilla. Kaavojen avulla voidaan vertailla MWD muuttujia numeerisesti ja graafisesti. Käyttämällä vain reunareikien tietoja ja järjestämällä reikien tiedot vierekkäin, kuten ne ovat katkossakin, muodostetaan katkon ulkopintaa kuvaava matriisi.

Käyttämällä värjäystyökalua, saadaan lukuarvolle väri joka esittää sen suhteellista suuruutta kaikkiin vertailtaviin lukuarvoihin matriisissa. Tuotettu näkymä nimettiin reikämatoksi (kuva 29).



Kuva 29: Reunareikien tunkeutumisnopeuksien arvot matriisissa Excelissä, arvojen värjäämiseen käytetty värjäystyökalua, jossa suurin arvo (nopein) saa punaisen sävyn ja pienin (hitain) sinisen.

Kokemukset poraus- ja MWD tiedon hyödyntämisestä taulukkolaskentaohjelmassa osoittivat, ettei vaihtoehto soveltunut tämän työn tarkoituksiin. Tiedonkäsittelyn automatisointi taulukkolaskentaohjelmiston laskentakaavoja hyödyntäen osoittautui mahdottomaksi. Suurimmaksi yksittäiseksi ongelmaksi muodostui tiedon sijaintien muuttaminen. Sijainteja olisi tarvinnut jäsenellä ensin tiedon saattamiseksi

käsiteltävään muotoon, sitten reikämaton rakentamiseen. Taulukkolaskentaohjelmiston tehokkaampi hyödyntäminen vaatisi ohjelmointia tiedostojen muotoilemiseksi ennen niiden tuomista itse taulukkolaskentaohjelmistoon. Raporttien manuaalinen luominen taulukkolaskentaohjelmistossa on mahdollista, mutta tarvittavien toimenpiteiden suorittaminen vaatii käyttäjältä runsaasti aikaa. Siinä missä käyttäjä luo *.doc raportin nopeasti iSuressa, kuluu raportin luomiseen taulukkolaskentaohjelmassa yli tunti.

Taulukkolaskentavaihtoehdon kehittäminen auttoi määrittelemään raportointijärjestelmän tavoitteita. Erityisesti reikämaton konsepti osoittautui toimivaksi ratkaisuksi ja loi ajatuksen kolmivaiheisesta raportointijärjestelmästä. Tämä aktivoisi porarin ajattelemaan työnsä jälkeä porauksen aikana, sen jälkeen ja palatessaan kohteelle, kun tuotettu pinta olisi havaittavissa räjäytyksen jälkeen. Lisäksi reikämatto mahdollistaisi kolmiulotteisen katkon esittämisen kaksiulotteisesti paperitulosteena.

5.2.4 Poraus- ja MWD tiedot IREDES standardissa

IREDES standardin mukaiset tiedostot mahdollistavat jumbon keräämän tiedon hyödyntämisen yleisesti käytössä olevilla ohjelmointikielellä ja ohjelmistoilla. IREDES käyttää XML tiedostoja, tiedostotyyppi jota yleisesti käytetään internetsivujen yhteydessä. IREDES standardi sisältää kerätyn tiedon poraustapahtumasta ja reikien sijainnista. IREDES standardi määrittelee, mitkä tiedot tulee sisällyttää ja missä muodossa. Tämä tarkoittaa sitä, että kone saattaa kerätä enemmänkin tietoa kuin IREDES formaatissa tuodaan käyttöön. Erityisesti tämä tuli esiin paikkatiedon yhteydessä.

IREDES standardin mukaiset *.xml tiedostot luodaan iSuressa. Jokaisesta MWD tietoa sisältävästä porareistä tulee oma *.xml tiedosto ja lisäksi reikien sijaintitiedot tallennetaan omaan *.xml tiedostoon.

IREDES standardin tiedostot ovat helpolla hyödynnettävissä erilaisten vapaaseen lähdekoodiin nojautuvien ohjelmistopätkien avulla. Erityisesti tämän työn eduksi lukeutuvat erinäiset graafiset sovellukset. Tässä näitä käytettiin piirtämään puomien porausjärjestys, reikien sijainnit, esittämään porausajat viivadiagrammissa ja esittämään poraus- sekä siirtoaikoja reikäkohtaisesti taulukossa. Raportit määriteltiin avautumaan

internetselaimessa, josta ne ovat edelleen tulostettavissa paperille tai esim. *.pdf tiedostoiksi.

Yksi järjestelmän tavoitteista oli tuottaa reikämatto käyttäen useampaa muuttujaa MWD-tiedoista. Telkkälän diplomityössään ehdottama MWD muuttajajoukon regressioanalyysi kallioperän ominaisuuksien mallintamiseksi [17] olisi todennäköisesti parantanut reikämaton luotettavuutta. Tavoitteesta luovuttiin tarvittavan järjestelmän monimutkaisuudesta johtuen. Toinen tavoite johon tässä työssä ei päästy, oli poraustarkkuutta ilmaisevan mittarin luominen raportointijärjestelmään. Tämä olisi vaatinut sijaintitietoa porareikien toteutuneista ja suunnitelluista sijainneista reikien aloituspisteessä. IREDES standardin tiedostot sisältävät vain toteutuneet pisteet. Täten tavoiteltu vertailu ei ole mahdollista IREDES tiedostoja hyödyntäen.

5.2.5 Poraus- ja MWD tiedot *.dcl tiedostoissa

Poraus- ja MWD tiedon käyttäminen suoraan iSuren käyttämistä DCL tiedostoista ilman iSurea ei ole mahdollista. Johtuen tiedostojen rakenteesta ei niiden hyödyntäminen ole mahdollista ilman valmistajan ohjeistusta. Tiedostojen hyödyntäminen voisi olla mielekästä, sillä ne sisältävät kaiken sen tiedon, jolla iSure rakentaa raporttinsa. Kun esimerkiksi IREDES raportteja luodaan, osa kerätystä tiedosta jää pois. Tätä vaihtoehtoa ei selvitetty koodin rakennetta pidemmälle ja jäi täten hyödyntämättä.

5.2.6 Yhteenveto ja toteutustavan valinta

Arvioitaessa käytettävissä olevia menetelmiä tämän työn käyttötarkoitusta varten, nousi IREDES standardin *.xml tiedostot parhaaksi vaihtoehdoksi. Tärkeimmät valintaperusteet olivat muokattavuus, käyttömahdollisuudet ja helppokäyttöisyys.

iSuren käyttäminen tietokoneelta sisälsi eniten valmiita työkaluja ja runsaasti visuaalisia esitystapoja. Vaihtoehto hylättiin, koska siinä tulokset piti lukea tietokoneen näytöltä, tietoa ei saanut valmiiksi raporteiksi ja tieto piti hakea useasta eri paikasta. Tässä työssä koettiin arvokkaaksi se, että kehitettävä raportointijärjestelmä käyttäisi paperitulosteita työmaaolosuhteiden mahdollistamiseksi. Lisäksi iSuren mukana tulee vain rajattu määrä ”dongleja” eli ohjelman käyttöavaimina toimivia USB tikkuja. Käyttöavaimien määrä

rajoittaa kerralla käytössä olevien iSure ohjelmien määrä. Koska kaikki käyttöavaimet ovat yleensä käytössä, ei yhden donglen käytön keskittäminen porarille ole todennäköistä.

Tekstinkäsittelyohjelmiin, kuten Microsoft Wordiin, tuotettujen raporttien ongelmaksi muodostui raporttien pituus ja muokattavuuden puute. Erityisesti mahdollisuutta tuottaa kuvia väriskaalatuista porareijistä kallioperän kuvailun harjoittamiseen ei ollut. Valmiisiin raportteihin ei ollut tarjolla kuvaa poratusta katkosta muutoin kuin suoraan edestä. Jos raporttiin olisi saanut automaattisesti tuotua esimerkiksi kuvat katkosta sivuilta ja päältä, porareikien MWD tieto esitettynä, olisi raportti toiminut huomattavasti paremmin tässä käytössä. Mainittakoon, että kuvien tuonti on mahdollista, mutta vaatii ylimääräistä työtä, kun kuvat tuotetaan erikseen iSuressa.

Taulukkolaskentaohjelmiin tuotua poraus- ja MWD tietoa pidettiin aluksi parhaana vaihtoehtona raportointijärjestelmän pohjaksi. *.csv tiedostojen tuonti esimerkiksi Microsoftin Excel taulukkolaskentaohjelmaan käsiteltäväksi on helppoa. Taulukkolaskentaohjelmien rajoitukset muodostuivat kuitenkin esteeksi. Erityisesti haasteeksi muodostui tuodun tiedon jäsentely automaattisesti käsiteltävään muotoon ja tiedon visualisointi reikämatossa. Ratkaisua etsittiin ohjelmoinnista, mutta edelleen *.csv tiedostojen tiedon jäsentely aiheutti ongelmia. Jäsentelyongelmat olisi voitu ratkaista ohjelmoimalla tähän oma työkalu. Johtuen jo tiedossa olleen IREDES standardin eduista ja siihen liittyvästä ohjelmointityöstä ohjelmointiin ei ryhdytty. Täten taulukkolaskenta vaihtoehdon kehittäminen lopetettiin. Vaihtoehdossa kehitettyä reikämattoa voidaan pitää lopuksi tuotetun raportin prototyyppinä.

IREDES standardin *.xml tiedostot tarjosivat hyvän pohjan monipuolisille toteutuksille sekä numeerisesti että graafisesti. Toteutus perustui ohjelmointiin esimerkiksi Python ohjelmalla. IREDES vaihtoehdolla oli parhaat edellytykset onnistua ja, kun taulukkolaskenta vaihtoehto oli pysähtynyt ohjelmoinnin tarpeeseen, päätettiin keskittyä kehittämään *.xml tiedostoihin perustuvaa ratkaisua.

5.3 Raportointijärjestelmän toteuttaminen

Raportointijärjestelmän kehittäminen päätettiin toteuttaa ohjelmoimalla IREDES standardin *.xml tiedostoja hyödyntämällä. Ensin määriteltiin raportin visuaalinen ilme, tarvittavat osat ja tekniset vaatimukset. Kun kokonaisuus oli suunniteltu, siirryttiin ohjelmoimaan varsinainen raportointijärjestelmä Python ohjelmalla. Lopuksi raportointijärjestelmällä vielä luotiin käyttöohjeet, jotta sitä voidaan käyttää myös omatoimisena.

5.3.1 Raportointijärjestelmän ohjelmointi

Raportointijärjestelmän ohjelmointiin käytettiin Python v.2.7.5 ohjelmistoa, sekä Matplotlib v.1.2.1 ohjelmointikirjastoa graafisten esitysten luomiseen. Raportointijärjestelmä tuottaa raportit iSuressa tuotettavista *.xml poraus- ja MWD tiedoista. Raportointijärjestelmän ohjelmoinnin suoritti Antti Nilakari, jolle kuuluu suuri kiitos.

Python on oliopohjainen ohjelmointikieli. Python ohjelmistolla ohjelmoitiin raportointijärjestelmä. Pythoniin itseensä ei ole mahdollista ladata grafiikkaa, mutta se onnistuu esimerkiksi Matplotlib ohjelmistokirjaston lataamalla. Ohjelmistolla luotiin järjestelmälle rakenne, käyttöliittymä ja raportin ulkoasu.

Matplotlib 2D piirto-ohjelmistokirjasto on Python ohjelmalle luotu lisäosa. Matplotlib ohjelmistokirjaston avulla tuotettiin reikämatto, porauskaavio, porauksen tehokkuus käyrät, sekä taulukot.

5.3.2 Raportin tulostaminen

Jumbon saatua katkon valmiiksi, tuodaan se USB tikulla tietokoneelle. Katkon sisältävä tiedosto avataan iSurella, jolla tiedot tuodaan IREDES formaattiin. Tuotettu *.xml tiedosto ajetaan tuotetun sovelluksen läpi, jolloin saadaan valmis raportti. Raportti avataan nettiselaimella, josta se voidaan tulostaa paperille tai tiedostoon, kuten *.pdf tiedostomuotoon

5.3.3 Raportin yleiset osat

Raportin käytön helpottamiseksi ja mahdollistamiseksi jokaisessa raportissa on yleistä tietoa katkosta. Tiedon avulla lukija saa tietää muun muassa kuka katkon on porannut ja miltä profiili näytti. Raportti sisältää otsikkoalueessaan yleistä tietoa raportissa olevasta katkosta (taulukko 6).

Taulukko 6: Raportin otsikkoalue

Katko 1342 / et

Katkoon käytetty aika: 2:34:48	DTiJumbo 111D18176-1
Keskim. aika / reikä: 0:03:16	

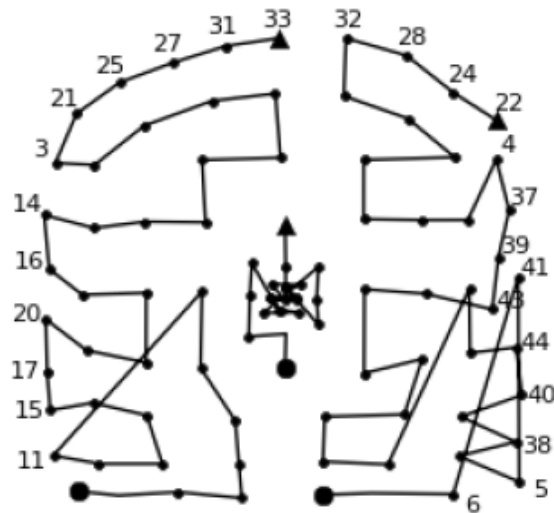
5.3.4 Porauskaavio

Katkon toteutunut muoto, puomien kulkemat reitit reikien välillä ja reunareikien numerot on esitetty porauskaaviossa (kuva 30). Reunareikien numerot on esitetty reikämaton tulkinnan helpottamiseksi. Yhdistämällä reikien sijainnit tunnelien perässä voidaan paremmin hahmottaa paperille tulostetun raportin kuvaaman kolmiulotteisen tilan pinta.

Porauskaavio muodostetaan raporttiin porareikien toteutuneiden aloituspisteiden koordinaateista sekä reikien välisistä porausjärjestyksistä. Kaikille rei'ille tulostetaan piste osoittamaan niiden sijaintia. Lisäksi katkon uloimpien reikien pisteisiin tulostetaan reikien numerot. Puomien suorittamat porausjärjestykset esitetään viivoilla, joiden alussa on kolmio ja lopussa pallo.

Porauskaavioiden tulkinta tapahtuu tarkkailemalla porausjärjestyksiä ja puomien käyttöasteita. Tavoitteena on ollut myös saada porareikien aloituspisteiden vertailu toteutuneiden ja suunniteltujen välillä, mutta se ei ollut mahdollista IREDES standardin tiedostojen kautta muodostetuissa raporteissa. Porausjärjestyksen tarkkailussa etsitään epäjohtonmukaisuuksia, jotka esiintyvät pitkinä ja risteävinä viivoina. Johtonmukainen poraaminen näkyisi lyhyinä, järjestyksenmukaisina viivoina reikien välillä. Puomien käyttöasteiden tarkkailu tapahtuu vertaamalla kullakin puomilla toteutettujen reikien määrää keskenään. Pitämällä kaikkien puomien käyttöaste korkeana saadaan

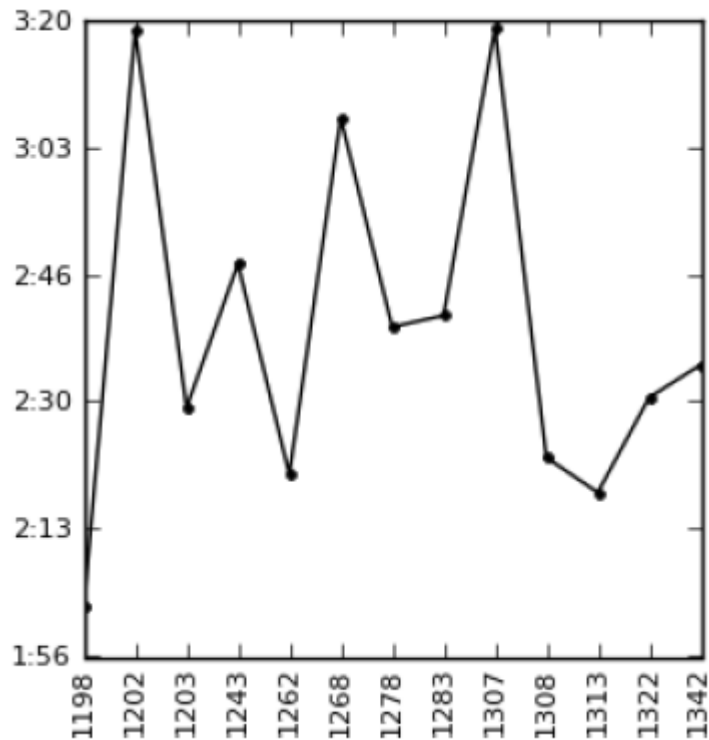
nopeutettua katkon porausta. Tulee muistaa, että aukaisun avarrusreiät porataan kaksi kertaa, ensin normaalilla kruunulla, ja sitten avarrusterällä. Tämä osaltaan näkyy vähempinä porattuina reikinä keskimmäisen puomin osalta, olettaen että kyseistä puomia on käytetty avauksen poraamiseen.



Kuva 30: Katkon toteutuneet reiät porauskaaviossa. Kyseisessä katkossa ylimmät reiät on porattu järjestelmällisemmin kuin alemmat. Tämä näkyy risteävinä viivoina porausjärjestyksissä. Lisäksi avaukseen käytetyllä puomilla on porattu selvästi muita puomeja vähemmän reikiä.

5.3.5 Porarin tehokkuus

Porarin tehokkuuden kehittymistä seurataan katkon poraukseen kuluneella kokonaisajalla. Raportin yläosassa oleva kuvaaja esittää katkon kokonaisajat (kuva 31). Kuvaajaa varten raportointijärjestelmä laskee ajan joka on kulunut katkon ensimmäisen reiän aloittamisesta ja viimeisen lopettamiseen. Lasketut arvot muodostavat pystyakselin ja katkon nimi/numero vaaka-askelin. Yhdistämällä muodostuneet saadaan käyrä, joka kuvaa porausaikojen kehittymistä. Mikäli porausaikoja kuvaava käyrä on laskeva ja katkot vertailukelpoisia, on porari kehittynyt työssään.



Kuva 31: Katkojen poraamiseen kuluneen ajan vertailu katkojen kesken, vaaka-akselilla katkot, pystyakselilla kulunut aika minuutteina ja sekunteina

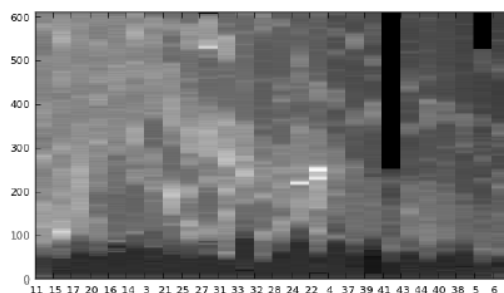
5.3.6 Reikämatto

Reikämatto on kallioperän kuvailua harjoittava oppimistyökalu. Reikämaton tarkoitus on auttaa poraria ymmärtämään yhteyden porakaluston porauksenaikaisen käyttäytymisen ja kallioperän ominaisuuksien välillä. Reikämatto esittää kruunun tunkeutumisnopeuden arvot porarei'issä 2 cm välein. Porareiät asetellaan vierekkäin ja niiden aloituspisteet tasataan vastaamaan reikien sijainteja kallioperässä. Arvopisteet muodostavat yhtenäisen kartan koetusta kallioperästä tunkeutumisnopeuden avulla. Näin muodostunut pisteverkko mahdollistaa kallioperän ominaisuuksien tulkitsemisen. Reikämaton muodostamista kokeiltiin kaikilla käytettävissä olevilla muuttujilla, mutta parhaaksi osoittautui tunkeutumisnopeus. MWD:stä suoritettut tutkimukset osoittivat myös samaa [25].

Reikämatto muodostetaan poratun katkon uloimmista rei'istä eli reuna- ja pohjarei'istä. Reiät poimitaan kaikista poratuista rei'istä niin sanotulla kuminauha-algoritmilla. Tämä toiminto poimii pistepilvestä uloimmat pisteet. Koska reikien poraaminen ei ala

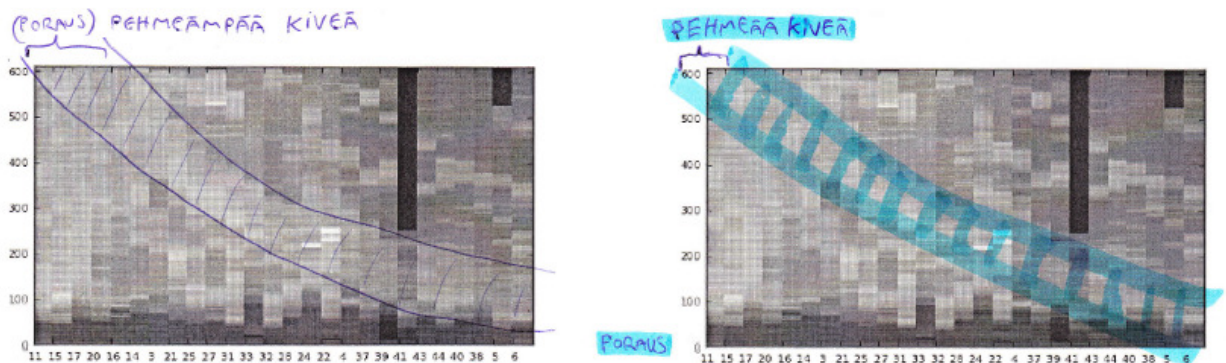
tasaiselta pinnalta, täytyy reikien arvojonoja siirtää poraussuunnassa. Siirron suuruus lasketaan vertaamalla porareikien aloituspisteiden koordinaatteja keskenään. Kunkin reiän siirron suuruus lasketaan erottamalla muiden pisteiden Y-koordinaatista pienin mitattu Y-koordinaatti. Täten pienimmän Y-koordinaatin omaava reikä alkaa tunkeutumissyvyyden pituudelta 0. Muut pisteet alkavat vastaavasti lasketun erotuksen verran edempää. Tunkeutumissyvyys esitetään pystyakselilla. Vaaka-akselin lukuarvot esittävät porareiän numeron. Reunareikien numerot esiintyvät myös porauskaaviokuvassa, mikä helpottaa reikämaton kaksiulotteisen projektion hahmottamista kolmiulotteisessa maailmassa (kuva 32).

Porareikien mittapisteiden tunkeutumisnopeuden arvot kuvataan mustavalko-väriskaalalla, missä suurin lukuarvo saa valkoisen värin ja pienin mustan. Kova kivilaatu on hitaampaa porata ja pehmeä nopeampaa. Harmaan sävy määräytyy sen mukaan, miten arvo sijoittuu ääriarvojen väliin. Jos arvo on esimerkiksi puolet suurimmasta, on myös värisävy keskiarvo mustan ja valkoisen väliltä. Porareikien kohdista, joista ei ole saatavilla arvoa annetaan arvoksi 0 eli ne saavat mustan värin. Lusta yleensä näkyy ympäristöään paljon hitaampana tunkeutumisena ja muodostaa tumman alueen reikämatossa. Yksittäiset sulkeutuneet raot näkyvät paikallisina, ympäröiviä suurempina, tunkeutumisnopeuden arvoina. Tämä johtuu ehjän kiven sisältämästä valmiista halkeamasta, jossa kiven rikkominen on jo osittain suoritettu etukäteen. Tällöin tunkeutuminen tapahtuu nopeammin kohdattaessa sulkeutunut rako.



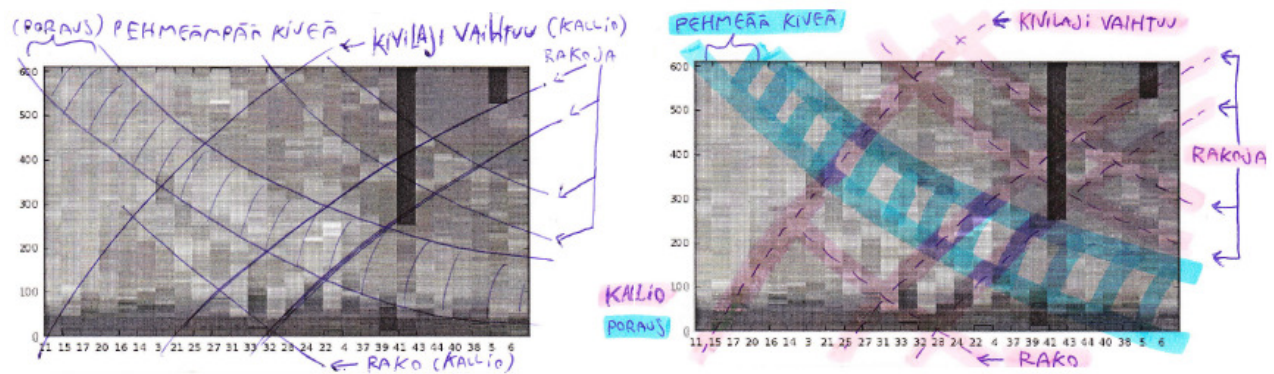
Kuva 32: Katkon reunareijistä koottu reikämatto, pystyakselilla syvyys, vaaka-akselilla reiän numero. Mustien palkkien alueelta poraustiedot puuttuvat. Reikien aluntummentuma johtuu varovaisesta porauksesta reiän aloituksessa.

Porarin suorittama kallioperän tulkinta tapahtuu seuraamalla poran toimintoja porakruunun tunkeutuessa kallioperään. Muutokset tunkeutumisnopeudessa, pyöritysnopeudessa, huuhteluveden värissä ja porausäänessä kertovat porarille kallioperän ominaisuuksien vaihtelusta. Reikämaton tarkoitus on esittää tunkeutumisnopeuden avulla kallioperästä vastaava tulkinta kuin mitä porari kokee poratessaan aistinvaraisesti. Kuvaa tarkkailemalla on mahdollista erottaa selvät rakopinnat, rakoiluvyöhykkeet sekä kallion kovuudesta johtuvan kivilajin vaihtumisen.



Kuva 33: Reikämatto porarin havainnoilla täydennettynä, vasemmalla kuulakärkikynällä, oikealla korostuskynällä

Reikämaton käyttö jakautuu ennen ja jälkeen porausta suoritettaviin osiin. Ennen reikämaton tulostamista porarin tulee seurata katkon poraustapahtumat ja luoda itselleen mielikuva poratussa katkossa kohdatuista kallioperän ominaisuuksista. Porari voi tehostaa oppimista piirtämällä katkosta oman näkemyksensä tyhjälle paperille. Piirustusta voidaan myöhemmin hyödyntää vertailemalla sitä tulostettuun reikämattoon. Porauksen päätyttyä porari tulostaa raportin, jossa reikämatto esiintyy. Porari täydentää reikämattoon omat havaintonsa kallioperän epäjatkuvuuksista ja lujuuden vaihteluista katkoon saatuaan raportin paperiversion (kuva 33).



Kuva 34: Reikämatto täydennettynä toteutuneesta kalliopinnasta tehdyin havainnoin vasemmassa reikämatossa kuulakärkikynällä ja oikealla korostuskynällä.

Louhinnan jälkeen, porarin saapuessa poraamaan alueen seuraavaa katkoa, tulee reikämattoon tehdä viimeiset merkinnät. Tällöin hänellä on mahdollisuus verrata raporttiin merkittyä, oletettua kallioperää, louhinnan kautta syntyneeseen todelliseen kalliopintaan. Tässä vaiheessa on hyvä tehdä huomioita aiemmin tehdyistä arvioista. Mikä meni oikein ja mikä väärin. Myös havainnot kallion rakenteista, joista ei saatu havaintoja, on hyvä pistää muistiin. Nämä kertovat porarille havainnointimenetelmän rajoituksista. Sekaannusten välttämiseksi merkinnät paljastuneesta kallioperästä tehdään eri värillä kuin edelliset merkinnät (kuva 34).

5.3.7 Reikäkohtainen tehokkuus

Raportin alin osio on taulukko, joka sisältää reikämatossa esiintyneiden reikien poraustietoa (taulukko 7). Tietojen avulla voidaan tehdä tarkempia päätelmiä porauksen onnistumisesta ja ongelmakohtista. Taulukossa esitetään kaksi asiaa. Ylemmällä rivillä esitetään reiän poraamiseen kulunut aika. Alemmalla rivillä esitetään aika, joka yhdellä puomilla on kulunut reiän poraamisen lopettamisen ja seuraavan aloittamisen välillä.

Reiän poraamiseen kulunut aika muodostetaan porajumbon keräämästä tiedosta kellonajoista, joissa reiän poraaminen on aloitettu sekä lopetettu. Reikien välillä muuhun kuin poraamiseen kuluva aika menee toimettomuuteen ja puomien siirtoihin. Tämä aika saadaan laskemalla viimeksi poratun katkon lopetusajankohdan ja seuraavan aloituksen erotus. Ruudut, joista puuttuu reikien välinen aika, ovat niitä reikiä, joista

puomi on siirretty kentän sisäpuoleiselta reiältä reunareialle. Tämä johtuu siitä, ettei porausaikoja tallenneta niistä rei'istä, joista ei tallenneta MWD-tietoa.

Taulukko 7: Reikäkohtaiset tiedot

Reikä	2	11	15	17	20	16	14	3	21	23	27	29	33	34
Aika / reikä	2:57	2:58	3:14	5:32	3:25	3:17	3:10	3:17	3:00	3:04	3:15	3:18	3:05	3:03
Reikä	32	28	24	22	4	37	39	43	42	40	36	5	6	1
Aika / reikä	2:52	3:06	3:10	3:00	2:53	3:06	3:00	3:13	3:10	3:15	3:22	3:23	2:47	3:29

5.3.8 Raportointijärjestelmän käyttöohjeet

Raportin käytön tueksi raportointijärjestelmälle luotiin käyttöohjeet. Käyttöohjeilla pyrittiin helpottamaan tulostettujen raporttien osien käyttämistä sekä itse raporttien tuottamista.

Raportointijärjestelmän käytön ensimmäinen vaihe on iSuresta tuotujen tiedostojen ryhmittely kansioihin. Ryhmittelyn avulla määritellään, mitkä katkot otetaan kerralla tarkasteluun. Esimerkiksi keräämällä kunkin porarin tiedot omiin kansioihinsa voidaan seurata kyseisen porarin kehittymistä. Vastaavasti voidaan vertailla useamman porarin katkoja keskenään tai seurata koko projektin katkojen poraamiseen kuluneita aikoja.

Raportointijärjestelmän ohjelmoinnista johtuen on muutamia yksityiskohtia, jotka tulee muistaa järjestelmää käytettäessä. Ensimmäinen muistettava asia on, etteivät katkojen kansiot saa olla tyhjiä. Jos jokin katkojen kansioista on tyhjä, ohjelma kaatuu. Ongelmasta päästään poistamalla tyhjät kansiot tarkastelusta ennen raportointijärjestelmän ajamista. Toinen muistettava asia on se, että katkon kansion pitää olla samanniminen kuin sen sisältämien tiedostojen. Jos kansiolle antaa eriävän nimen, järjestelmä ei luo kyseisestä katkosta raporttia.

Ohjelman käyttäminen alkaa käynnistämällä ”rounds_stats.py” ohjelma. Näin toimittaessa avautuu toimintaikkuna, jossa pyydetään käyttäjää valitsemaan kansio. Kun kansio on valittu, ohjelma alkaa käydä katkoja lävitse ja sitten tuottaa niistä raportit. Muodostetut raportit ovat *.html tiedostoja ja ne avautuvat internet selaimessa. Internet selaimesta raportit voidaan edelleen tulostaa paperille tai *.pdf tiedostoiksi.

5.3.9 Toteuttamattomat raportin osat

Raportointijärjestelmään suunniteltua porauksen laatu osiota ei voitu toteuttaa johtuen puuttuvasta tiedosta. Raportointijärjestelmässä käytetyt IREDES standardin mukaiset *.xml tiedostot eivät sisällä tietoa porareikien suunnitelluista sijainneista. Tiedostot sisältävät porareikien toteutuneet sijainnit, mutta ilman vertailukohtaa ei poraustarkkuutta voida analysoida.

5.4 Raportointijärjestelmän käyttökokemukset

Raportointijärjestelmää testattiin analysoimalla 62 Länsimetron Lauttasaaren osuudella porattua katkoa. Katkot ryhmiteltiin sen mukaan missä tunnelissa ne oli porattu sekä porarin mukaan. Käyttökokemuksia ei saatu raporttien reikämattojen vertaamisesta katkojen toteutuneisiin kalliopintoihin. Valmiin raportointijärjestelmän koeajo poraamalla uusia katkoa ei ollut tämän työn yhteydessä mahdollista johtuen DT1130i jumbon huollosta.

Pohjoisesta ratatunnelista valittiin 32 porattua katkoa ja eteläiseltä 31 (taulukko 8). Porarit A, B ja C porasivat kyseiset katkot. Kaikki porarit porasivat molemmissa tunneleissa. Porari A porasi 32 katkoa, B 26 katkoa ja C 5 katkoa. Hylkäysperusteina pidettiin injektointiviuhkojen reikä tiedon sisältyminen katkon poraustietoihin sekä poraustiedoista mahdollisesti puuttuneita osioita. Esimerkiksi yhden katkon avauksen reikä tiedot olivat muodostaneet oman tiedostonsa. Muutamassa katkossa oli lisäksi ylipitkiä reikiä, mutta nämä saattoivat olla mittausvirheitä. Mahdollisen virheen syntymekanismeja ei tutkittu.

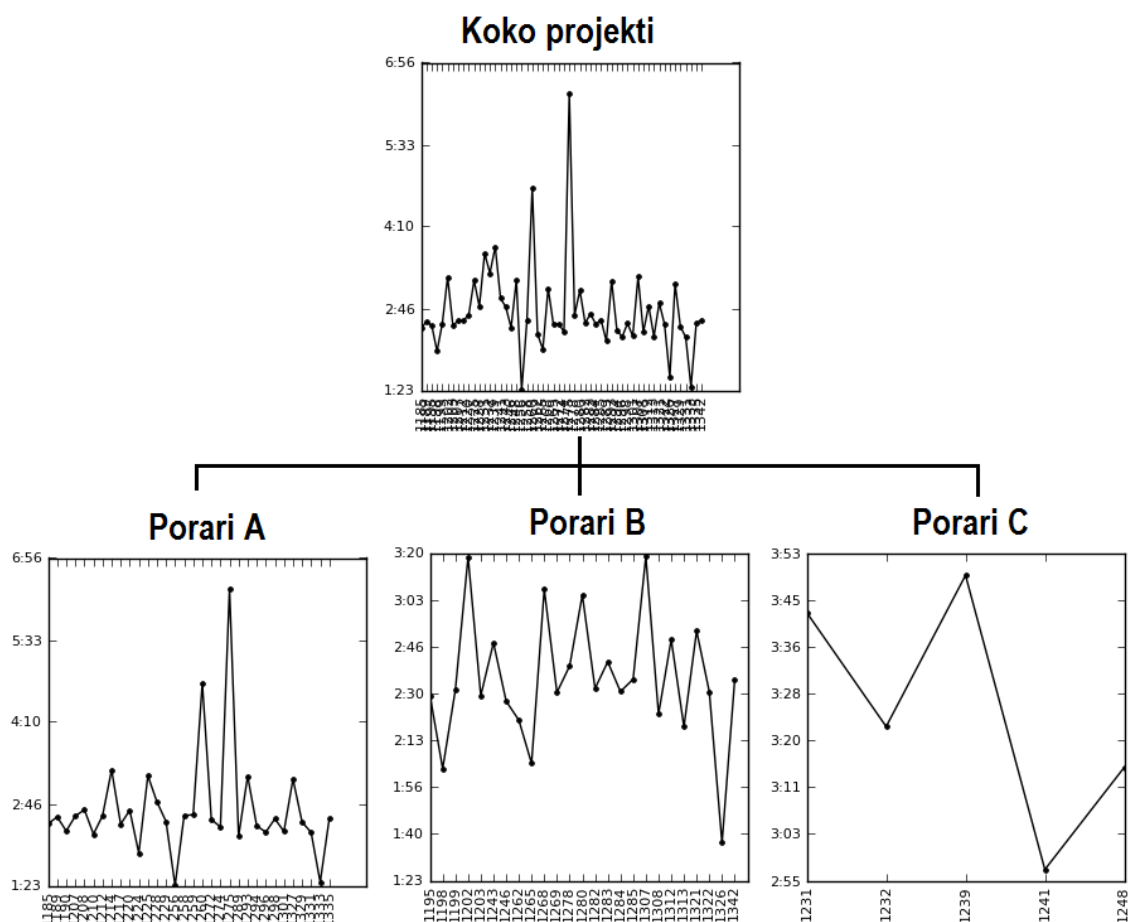
Taulukko 8: poratut katkot ja tunnelit joissa katkot porattiin.

Porari	Tunneli		Yht.
	Eteläinen	Pohjoinen	
A	14	18	32
B	13	12	25
C	3	2	5
Yht.	30	32	62

Raportointijärjestelmän testaaminen todellisilla poratuilla katkoilla alkoi kerätyn poraustiedon ryhmittelyllä. Katkot ryhmiteltiin porareittain ja kohteittain. Tavoitteena

oli luoda katkoista vertailukelpoiset joukot. Ryhmittely on tärkeää, sillä raportointijärjestelmä käyttää kohdekansion kaikkia katkoja luodessaan raportit. Tämä näkyy raportin kuvassa, jossa vertaillaan katkojen poraamiseen kuluneita aikoja keskenään.

Kuvassa 35 on esitetty neljä porausaikojen vertailua, jotka on poimittu luoduista raporteista. Raportit luotiin käyttäen keskenään vertailukelpoisia katkoja. Katkoista muodostettiin vertailut koko projektista sekä erikseen kunkin porarin katkoista. Vertailuista on poimittavissa porausaikojen keskiarvot ja selvät poikkeamat. Kuvassa 35 porarin A ja koko projektin katkojen vertailuissa esiintyy kaksi pidempää porausaikaa. Nämä johtuvat porauksen aikana koneella suoritetuista huoltotoimenpiteistä. Katkot, joiden poraamiseen on kulunut selvästi alle kaksi tuntia, ovat lyhennettyjä katkoja. Näissä katkon pituus oli viisi metriä tai vähemmän. Kahdella enemmän poranneella porarilla eli porareille A ja B oli miltei samat keskiarvot katkon poraamisessa.



Kuva 35: Porareiden A, B ja C, sekä koko projektin porausaikojen vertailu

Analysoidut raportit käytiin läpi kuin ne olisi annettu porarille tulkittavaksi katkon porauksen jälkeen. Aluksi merkintöjä tehtiin lähinnä reikämattoon eikä lainkaan muihin raportin osioihin. Reikämatosta oli havaittavissa selviä kallion piirteitä, kuten rakoja ja kallion suhteellisen kovuuden vaihtelua. Aluksi merkinnät suoritettiin reikämattoon erivärisillä korostuskynillä. Ensin porarin aistinvaraiset tulkinnat merkittiin yhdellä värillä ja toteutuneen kallioperän tulkinnat toisella. Täten on mahdollista erottaa eri vaiheissa suoritettavat havainnot toisistaan jälkikäteen. Myöhemmin merkinnät tehtiin pelkästään kuulakärkikynällä, koska tämä on todennäköisin työmaalta löytyvä kynälaatu. Kuulakärkikynä osoittautui toimivaksi ja kuvailevammaksi verrattuna leveään korostuskynään (kuvat 32 – 34).

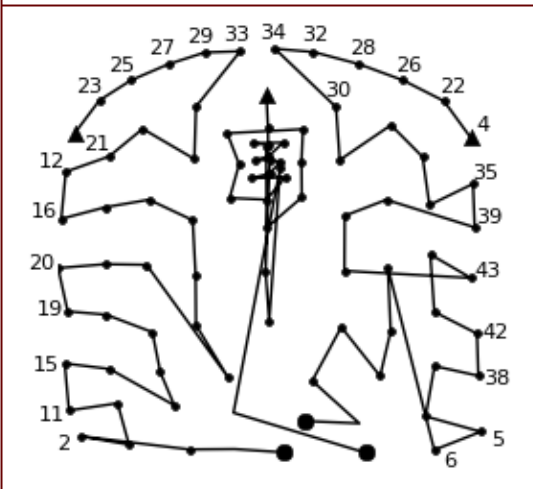
Porauskaaviosta näkyy, missä järjestyksessä porari on porannut katkon reiät. Järjestelmällisesti porattu katko on nopeammin tehty kuin epäjärjestelmällisesti porattu katko. Tämä johtuu reitin optimoinnista reikien välillä. Järjestelmällisesti poratussa

katkossa porakone siirtyy lyhyintä reittiä reiältä toiselle, eivätkä sen reitit kertaakaan risteä. Kuvassa 36 on nähtävissä, kuinka identtiset kuusi metriä pitkät katkot on porattu saman porarin toimesta. Erona katkojen välillä on se, että nopeammin porattu katko on porattu järjestelmällisesti ja toinen taas epäjärjestelmällisesti. Katkojen tuottamiseen kuluneissa ajoissa on miltei tunnin ero.

Katko 1331

Katkoon käytetty aika: 2:17:28

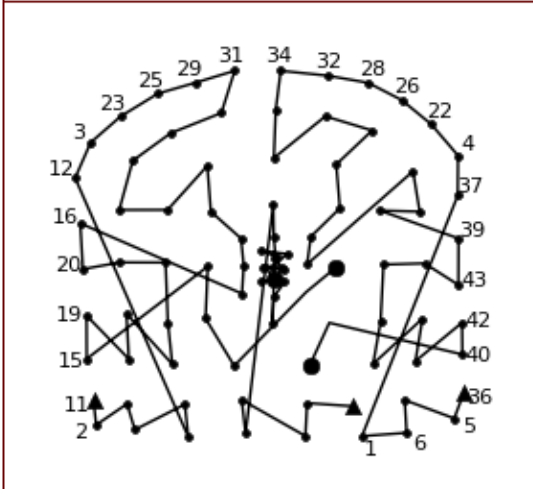
Keskim. aika / reikä: 0:03:19



Katko 1327

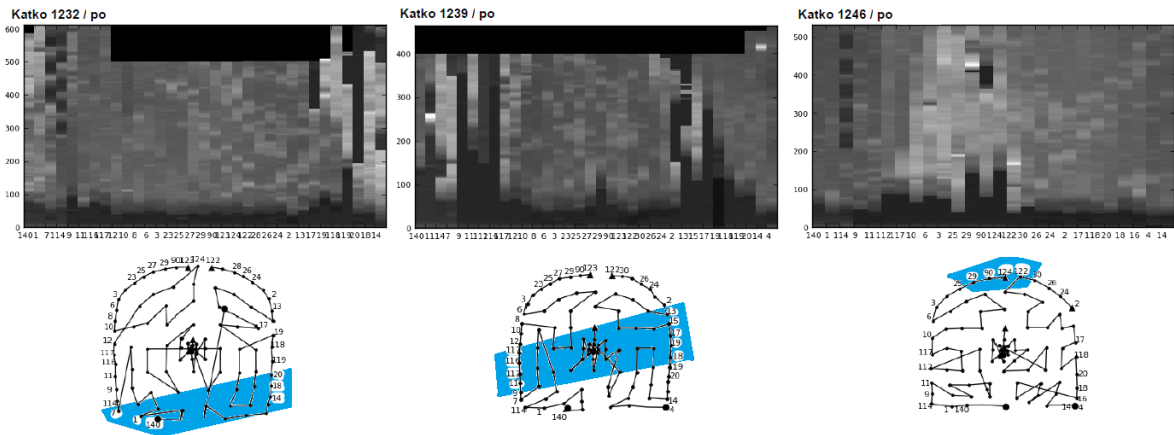
Katkoon käytetty aika: 3:11:43

Keskim. aika / reikä: 0:03:15



Kuva 36: Järjestelmällisen ja epäjärjestelmällisen porausjärjestyksen vaikutus katkon kokonaisaikaan

Käytäessä raportteja läpi törmättiin katkoissa alueeseen, jossa tunneli kulkee ilmeisesti vaakalustan lävitse. Aluksi epäiltiin, että nämä olisivat olleet rikkoontuneita porakruunuja, mutta jäljen esiintyminen kolmessa perättäisessä katkossa poisti tämän epäilyksen. Lusta näkyy kolmessa peräkkäisessä katkossa ja se leikkaa katkot lievästi nousten katkojen etenemän suuntaisesti. Koska tämä lusta leikkaa katkot vaakasuuntaisesti, ei sitä voinut esittää reikämaton esittämällä kaksiulotteisella pinnalla. Ratkaisuksi vaakasuuntaiset lustat alettiin merkitsemään porauskaavioon (kuva 37).



Kuva 37: Tunnelia vaakasuuntaisesti kolmessa peräkkäisessä katkossa leikkaavan lustan esittäminen porauskaavioissa

5.5 Kehitysehdotukset

Työn aikana tuli esille huomioita, mitkä helpottaisivat tiedonkeruujärjestelmien hyödyntämistä jatkossa. Osa huomioista liittyy tiedonkeruujärjestelmän tarjoamiin tiedon hyödyntämistapoihin, osa tässä työssä luotuun raportointijärjestelmään.

Nyt luodun raportointijärjestelmän käyttöä silmällä pitäen *.xml tiedostot ovat paras tapa hyödyntää tietoa. Avoin lähdekoodi mahdollistaa monipuolisten sovellusten toteuttamisen helpolla kun valmiita ohjelmiston osia on tarjolla internetistä. Esimerkiksi tässä työssä hyödynnettiin Matplotlib kirjaston piirtotyökaluja reikämaton ja porauskaavion tuottamisessa. Ainoa ongelma, johon törmättiin *.xml tiedostoja hyödynnettäessä, oli saatavilla olevan tiedon puuttuminen. Tämä johtui kansainvälisestä IREDES standardista jonka mukaisiksi *.xml tiedostot on tuotettu. Tiedostot siis sisältävät vain sen tiedon, jonka standardi määrittelee, ei enempää, ei vähempää. Käytännössä tämä aiheutti porauksen tarkkuutta esittävien osien pois jättämisen raportointijärjestelmästä. Ongelma on turhauttava, sillä tarvittavat tiedot olivat tarjolla *.csv tiedostoissa. Lisäksi on muitakin tietoja, kuten porausaika manuaalilla, joita ei ole saatavilla *.xml tai *.csv tiedostoissa.

Tässä työssä taulukkolaskentaohjelmassa käytettyjen *.csv tiedostojen sisältöä voisi kehittää. Käyttäjän kannalta tämä tiedostotyyppi on hyvä pohja poraus- ja MWD-tiedon syvällisempään tutkimiseen, sillä se sisältää eniten tietoa heti iSuren käyttöliittymän

jälkeen. Taulukkolaskentaohjelmissa tehtävän analysoinnin etuna on erityisesti matala käyttökynnys. Ongelmana nyt oli tiedon rakenteen hankala jäsentely. Ennen kuin tietoa pystyy käyttämään taulukkolaskentaohjelmissa, täytyy tiedostoja muotoilla käsin tai ohjelmoida erillinen ohjelma tekemään tämä muokkaaminen.

Poraus- ja MWD-tiedon käyttäjäkohtainen analysointi helpottuisi erityisesti, jos *.csv ja *.xml tiedostoja ei tarvitsisi erikseen luoda tiedonkeruujärjestelmässä. Tämän voisi toteuttaa esimerkiksi säätämällä tiedonkeruujärjestelmän automaattisesti muodostamaan halutut tiedostot aina kun jumbon tiedostot tuodaan koneelle. Tällä hetkellä tämä ei ole mahdollista.

Määriteltäessä raportointijärjestelmän tarpeita varten katkoista tuotettavia tiedostoja, päätettiin, että reunareijistä tarvittaisiin poraus- ja MWD tiedot. Silloin ajateltiin, ettei muista reijistä tarvittaisi MWD-tietoa. Myöhemmin selvisi että aina kannattaa tallentaa kaikista reijistä sekä poraus että MWD-tiedot. Yksi tieto, mikä tallentuu vain MWD-tietoihin *.xml tiedostoissa on porareikien aloitus ja lopetus ajankohdat. Nämä tiedot olisivat mahdollistaneet kaikkien reikien välisten aikojen laskemisen raporttiin. Nyt raportista saattaa puuttua osa reikien välisistä ajoista, koska joko edellisen tai seuraavan reiän tiedot aloitus- tai lopetusajasta ovat puuttuneet.

Porakruunujen kulumisen voisi esittää porauskaaviossa. Esittäminen tapahtuisi piirtämällä porausjärjestyksestä kuvaavan viivan paksumpana ja värjäämällä viivan liukuvärjäyksellä. Aloituspiste olisi vaalein ja kruunun vaihtopiste tummin. Samalla myös kruunun kulumisesta johtuva tunkeutumisnopeuden laskeminen voitaisiin mahdollisesti kompensoida reikämatosta.

Porauskaavioon tulisi lisätä mitta-asteikko helpottamaan porauskaavion tulkintaa. Myös tunnelin teoreettisen profiilin lisääminen kuvan taustalle auttaisi porauksen laadullisessa tulkinnassa.

Raporttiin olisi hyvä lisätä yleisiä tietoja, kuten tuotetut porametrit katkosta, puomien liikkumat matkat reikien välillä ja reikien lukumäärä.

5.6 Jatkotoimenpiteet

Raportointijärjestelmää tullaan käyttämään Kalliorakennus-Yhtiöt Oy:n Jokeri 2 tunnelityömaalla keväällä 2014. Tämän tutkimuksen kirjoittamisen ajankohtana yhtiön DT1130i porajumbo on ollut huollossa ja siirtyy seuraavaksi Jokeri 2 työmaalle. Urakka koostuu pääosin kahdesta tunnelista ja niitä yhdistävistä väliperistä. Tavoitteena on käyttää nyt tuotettua raportointijärjestelmää porarien kehittämiseen yhteistyössä porarien kanssa. Samalla kallioperästä tuotettuja reikämattoja pyritään hyödyntämään työnaikaisessa suunnittelussa.

6 Johtopäätökset

Tämän työn kautta saadut kokemukset osoittavat, että jumbon keräämän poraus- ja MWD-tiedon hyödyntäminen porarin ammattitaidon kehittämiseksi on mahdollista. Tässä kehitetty raportti ohjaa poraria ajattelemaan ammattitaidon kehittymisen kannalta olennaisia asioita. Raportin avulla pyritään luomaan rutiini kallioperän tulkinnasta porakoneen välityksellä, tiedon välittämisestä eteenpäin sekä tehokkuuden kehittymisen tarkkailusta.

Kaikkia tavoitteita ei saavutettu. Porauksen laatua kuvaava työkalu ei toteutunut, koska *.xml tiedostot eivät sisällä porareikien suunniteltuja sijainteja. Täten poraustarkkuuden tarkkailu vertaamalla suunniteltua toteutuneeseen ei ollut mahdollista. Poraustarkkuutta kuvaavan työkalun ohjelmointi olisi ollut mahdollista käyttämällä tiedonlähteenä *.xml tiedostojen sijasta *.csv tiedostoja. Käytännössä tämä raportin toteuttaminen olisi vaatinut ohjelmointityön suorittamista uudelleen alusta alkaen. Toinen toteutumatta jäänyt toiminto oli reikämaton luominen usean muuttujan avulla. Ajatus oli toteuttaa regressioanalyysi käyttämällä seitsemää muuttujaa, joista porajumbo kerää mittaustietoa. Tämän toteutus olisi vaatinut huomattavasti enemmän ohjelmointiresursseja kuin nyt kulutettiin.

Poratun katkon uloimmista porarei'istä muodostettu reikämatto osoittautui toimivaksi työkaluksi kallioperän kuvailuun. Käyttämällä reikämatossa muuttujana porakaluston tunkeutumisnopeutta kallioon, saatiin kuvattua niitä havaintoja, joita porari itse tekee poratessaan katkoa. Reikämatosta on erotettavissa lähinnä kallion selvät piirteet. Kallioperän vaakasuuntaisten muutosten tulkinta on hankalaa, sillä ne sekaantuvat esimerkiksi porakruunun kulumisesta johtuvaan tunkeutumisnopeuden pienentymiseen. Reikämaton käyttäminen kallioperän tulkintaan kolmessa vaiheessa auttaa luomaan yhteyden poraustapahtuman, kerätyn tiedon ja louhinnan kautta syntyvän kallioperän tulkinnan välille. Valitettavasti raporttia ei päästy kokeilemaan työmaalla oikeissa olosuhteissa. Täten reikämattoon tallentuvan tiedon vertaamista porattuun kallioperään ei päästy toteuttamaan.

Reikämaton tukena raportissa oleva porauskaavio on välttämätön apu kaksiulotteisen reikämaton kuvaaman kolmiulotteisen pinnan havainnollistamiseksi paperille. Porauskaaviossa ja reikämatossa olevat reiät on numeroitu kuvien välisen yhteyden muodostamiseksi. Täten raportin käyttäjä voi taittaa paperille tulostetun reikämaton raportin porauskaavioon mukaisesti kuvaamaan tunnelin kolmiulotteisen pinnan. Porauskaavioon tuodut poraussekvenssit näyttävät, miten porareikien porausjärjestys on tehty. Järjestelmällisesti porattu katko syntyy nopeammin puomien kulkiessa lyhyemmän matkan. Porausjärjestyksen näkeminen jälkikäteen raportissa auttaa poraria kehittämään toimintaansa.

Porauksen tehokkuuden esittäminen katkon kokonaisajalla, reikäkohtaisella porauksen kestolla ja puomin siirtoon kuluneella ajalla on toimiva ratkaisu. Pitämällä esitettävät lukuarvot käytännönläheisinä on helppo yhdistää lukuarvo ongelmaan.

Kuviin perustuva viestintä on tehokasta, mutta tulkinta vaatii käyttöohjeet. Tämän vuoksi raportille luotiin käyttöohjeet. Ohjeissa on avattu eri työkalujen ja kenttien sisältö sekä käyttäminen. Erityisesti reikämatto vaatii opastusta, jotta käyttäjä osaisi tulkita kuvasta mahdollisesti löytyvien kalliorakojen, heikkousvyöhykkeiden ja kivilajien vaihtumisen.

7 Yhteenveto

Tässä työssä selvitettiin porajumbon tiedonkeruujärjestelmien hyödyntämisen mahdollisuuksia porarin ammattitaidon kehittämiseksi. Selvitystyö tehtiin käymällä läpi kaikki vaihtoehdot, joita porajumbon tiedonkeruujärjestelmä tarjoaa tiedon tulkintaan. Vaihtoehtoista käyttökelpoisin valittiin kehittämisen kohteeksi ja sen avulla luotiin raportointijärjestelmä. Raportointijärjestelmän tarkoituksena on toimia tiedon esittämisen välineenä sekä kehittymistä tukevana työkaluna.

Tämän työn tiedonkeruujärjestelmä oli Sandvikin iSure ja tiedot kerättiin DT1130i porajumbosta Länsimetron Lauttasaaren osuudelta vuosina 2012 ja 2013. Tiedonkeruujärjestelmän tarjoamia vaihtoehtoja kerätyn tiedon hyödyntämiseen oli viisi. Nämä olivat monipuoliset työkalut iSure ohjelmassa, valmiit raportit *.doc muodossa tekstinkäsittelyohjelmistoissa avattavaksi, *.csv tiedostot taulukkolaskentaohjelmia varten, IREDES standardin *.xml tiedostot ja *.dcl tiedostot, joita iSure lukee. Vaihtoehtoista jatkokehitykseen vietiin taulukkolaskentaohjelmissa käytettävät *.csv tiedostot ja ohjelmointia vaativat *.xml tiedostot. Taulukkolaskentavaihtoehdon kehittäminen lopetettiin ohjelmistoon liittyvän tiedonjäsentelyn kankeuden johdosta. Kehitystyön aikana luotu reikämaton konsepti osoittautui hyödylliseksi ja se otettiin lopulta käyttöön. IREDES standardin mukaiset *.xml tiedostot osoittautuivat toimivaksi ratkaisuksi. Näiden hyödyntämiseksi ohjelmoitiin raportointijärjestelmä Python ohjelmalla ja Matplotlib piirtotyökalukirjastoa hyödyntäen.

Taulukko 9: Toteutuneen raportointijärjestelmän osat

-	yleiset tiedot: <ul style="list-style-type: none"> o katkon nimi/numero o porauspäivämäärä o aika, joka kului ensimmäisen reiän aloittamisesta viimeisen lopettamiseen o keskiarvo ajasta, joka kului edellisen reiän lopettamisesta seuraavan aloittamiseen
-	katkon tehokkuus: <ul style="list-style-type: none"> o kuvaaja, jossa vertaillaan porarin/porarien katkojen poraamisen suorittamiseen kuluneita aikoja o pystyakselilla porauksen kesto muodossa [hh:mm] o vaaka-akselilla poratun katkon nimi/numero
-	porauskaavio: <ul style="list-style-type: none"> o toteutuneet reikien aloituspisteet o reikien porausjärjestys puomikohtaisesti o reunareivät numeroituna
-	reikämatto: <ul style="list-style-type: none"> o katkon reunimmaiset reiät vierekkäin järjestettynä o mitatut tunkeutumisnopeudet esitettynä musta-valko väriskaalalla o pystyakselilla poraussyvyys metreissä o vaaka-akselilla reiän numero

Raportointijärjestelmän välityksellä poraus- ja MWD-tieto on tulostettavissa yhdelle A4 paperiarkille mustavalkoisena tulostuksena. Mustavalkotulostuksella tavoiteltiin työmaayhteensopivuutta. Muiden osien ollessa informatiivisia, on reikämatto toiminnallinen. Sen käyttäminen tapahtuu kolmessa osassa. Ensin porari tarkkailee porausta ja havainnoi porakoneiden toimintaa mielessään. Porauksen jälkeen porarille tulostetaan paperille raportti, jonka reikämatolle porari täydentää omat havaintonsa. Porarin palatessa poraamaan seuraavaa katkoa tulee porarin vertailla omaa mielikuvaansa sekä reikämattoa kallioon louhittuun pintaan. Tämä kolmivaiheinen prosessi auttaa poraria yhdistämään porakoneesta saatavat havainnot poratun kallioperän ominaisuuksiin. Täten porari kehittää kykyään kuvailla porattavaa kallioperää, joka on yksi porarin tärkeimmistä taidoista. Raportin muut osat auttavat poraria kehittämään työnsä tehokkuutta. Tämä tapahtuu tarkkailemalla katkon poraamiseen kulunutta kokonaisaikaa, vertailemalla tätä muihin katkoihin sekä tarkkailemalla porareikien tuottamiseen ja reikien välillä kulunutta aikaa.

Kaikki tavoitteet eivät toteutuneet. Raportointijärjestelmästä jätettiin pois useamman MWD muuttujan regressioanalyysi reikämatossa sekä porauksen laatua kuvaava työkalu. Regressioanalyysin toteutus jätettiin pois sen vaatiman ohjelmointiresurssien vuoksi. Porauksen laatua kuvaava työkalu olisi tarvinnut poraustietoa porareikien suunnitelluista sijainneista. Tämä tieto puuttui IREDES standardin tiedoista eikä sitä siten ollut saatavilla *.xml tiedostoista. Tarvittava tieto on saatavilla taulukkolaskentaohjelmassa avattavasta *.csv tiedostosta.

Tuotettua raportointijärjestelmää testattiin analysoimalla 62 kpl Länsimetron Lauttasaaren osuudella porattua keskenään vertailukelpoista katkoa. Porauksen tehokkuuden analysointi onnistui, mutta kallioperän tulkintaa ei päästy kokeilemaan työmaaolosuhteissa. Analysoitujen katkojen reikämatoista on poimittavissa selviää kalliopirteitä, kuten rakoja, heikkousvyöhykkeitä ja kivilaadun vaihtumista pehmeästä kovaan ja toisin päin.

Lähteet

- 1 Schmuck (2012), Turning Data Into Information, World Tunneling, (3)
Saatavana internetistä osoitteesta <http://www.world-tunnelling.com/features/turning-data-into-information> Viitattu 2.4.2012
- 2 Kalliorakennus-Yhtiöt Oy (2013), keskustelut Kalliorakennus-Yhtiöt Oy:n henkilökunnan kanssa vuosina 2012-2013
- 3 Kalliorakentamisen mahdollisuudet, GUMMERUS Oy, Jyväskylä 1988. ISBN 951-754-373-5
- 4 Heiniö (toim.) (1999), Rock Excavation Handbook for civil engineering, Sandvik Mining and Construction Oy
- 5 Vuolion (2008) Räjätysopas, ISBN: 978-952-9697-13-9, SML:n Maarakentajapalvelu Oy, 3. painos
- 6 Kalliorakennus-Yhtiöt Oy (2013) Kalliorakennus-Yhtiöt Oy:n viiden toteutuneen tunnelilouhintaurakan kustannukset
- 7 Rämö (toim.) (1998). Suomen kallioopera: 3000 vuosimiljoonaa. Helsinki, Suomen Geologinen Seura ry., 375 s. ISBN 952-90-9260-1
<http://www.geologinenseura.fi/suomenkalliopera/>
- 8 Eloranta (1992) Poraus kiven irrotuksen osatekijänä, TKK Materiaali- ja kalliotekniikan laitos, opetusmoniste TKK-KAL B1
- 9 Robit Rocktools Ltd (2012), Robit Rockbit Manual. Saatavana internetistä osoitteesta <http://www.robit.fi> Viitattu 10.11.2013
- 10 Robit Rocktools Ltd (2013), Robit Rocktools Product Catalogue Saatavana internetistä osoitteesta <http://www.robit.fi> Viitattu 10.11.2013
- 11 Atlas Copco Rock Drills AB (2008), Mining Methods in Underground Mining, 3rd edition, Örebro, Sweden
- 12 Sandvik Mining and Construction Oy (2013), kuva porajumbosta, Saatavana internetistä osoitteesta <http://www.understandingunderground.sandvik.com/> Viitattu 1.10.2013
- 13 Segui ja Higgins (2002), Blast design using measure while drilling parameters, Fragblast
- 14 Sandvik Mining and Construction Oy (2010), iSure käyttöopas (i 6.4.1)
- 15 Kukkonen (2005), Kallio-ominaisuuksien määrittäminen iskevällä porauksella. Teknillinen Korkeakoulu, diplomityö. Otaniemi.
- 16 Mozaffari (2007), Measurement While Drilling System in Aitik Mine, Luleå University of Technology, Luleå

- 17 Telkkälä (2009), Työkoneen prosessidatan analysointi, TTY, diplomityö
- 18 IREDES (2013), IREDES esittelymateriaali, Saatavana internetistä osoitteesta <http://www.iredes.org/> Viitattu 15.11.2013
- 19 Wikipedia (2013), Wikipedia artikkeli XML koodista, Saatavana internetistä osoitteesta <http://fi.wikipedia.org/wiki/XML> Viitattu 15.11.2013
- 20 Mikkonen (2008), Poravaunusimulaattorin käyttö opetuksessa, kehittämishankeraportti, Jyväskylän Ammattikorkeakoulu, Saatavana internetistä osoitteesta <http://theseus17-kk.lib.helsinki.fi/handle/10024/20172> Viitattu 15.11.2013
- 21 Sandvik Mining and Construction Oy (2013), SIM Driller poraussimulaattorin esittelykuva, Saatavana internetistä osoitteesta <http://www.miningandconstruction.sandvik.com/> Viitattu 15.11.2013
- 22 Sandvik Mining and Construction Oy (2013), kuva DT1130i jumbosta
- 23 Sandvik Mining and Construction Oy (2012), keskustelut Sandvikin henkilökunnan kanssa vuonna 2012
- 24 Sandvik Mining and Construction Oy (2012), Understanding Underground, Saatavana internetistä osoitteesta <http://www.understandingunderground.sandvik.com/> Viitattu 15.11.2013
- 25 Valli (2010), Investigation Ahead of the Tunnel Face by Use of a Measurement-While-Drilling System, Posiva, working report

Liite 1 IREDES standardin mukainen tiedosto porareian MWD tiedoista

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8" ?>
- <!--
This file was created by iSURE 6.5.0.7973.
-->
- <DRMWD xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
  xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema" IRVersion="V 1.2" IRDownwCompat="V 1.2"
  DRMWDVersion="V 1.2" DRMWDDownwCompat="V 1.2">
- <GenHead>
  <FileCreateDate>2013-05-08T11:35:06.2535935+03:00</FileCreateDate>
- <EquipmentInfo>
  <EqpManufact>Sandvik Mining and Construction Oy</EqpManufact>
  <EqpType>DTiJumbo</EqpType>
  <EqpSerNo>111D18176-1</EqpSerNo>
  <EqpName>Laitteen tiedot puuttuvat</EqpName>
  </EquipmentInfo>
  </GenHead>
  <StartLogTime>2012-10-04T11:02:58</StartLogTime>
  <EndLogTime>2012-10-04T13:37:08</EndLogTime>
  <PlanIdRef>Etela ita tiheempi.dp</PlanIdRef>
  <MWDholeId>3</MWDholeId>
  <QualityReportIdRef>DRPQuality_111D18176-1_1207</QualityReportIdRef>
- <CompactMWDdata>
- <MWDparams>
  <Parameter>DepthTag</Parameter>
  <Parameter>PenetrRate</Parameter>
  <Parameter>PercPressure</Parameter>
  <Parameter>FeedPressure</Parameter>
  <Parameter>FeedPressureSetting</Parameter>
  <Parameter>FeedSpeedSetting</Parameter>
  <Parameter>RotPressure</Parameter>
  <Parameter>RotationPressureSetting</Parameter>
  <Parameter>FlushPressure</Parameter>
  <Parameter>StabilPressure</Parameter>
  <Parameter>WaterpumpPressure</Parameter>
  <Parameter>DrillCtrlSetting</Parameter>
  <Parameter>RotSpeed</Parameter>
  <Parameter>RotationSpeedSetting</Parameter>
  <Parameter>FlushFlow</Parameter>
  <Parameter>AirFlow</Parameter>
  <Parameter>StateOfFlushFlow</Parameter>
  <Parameter>RockDetect</Parameter>
  <Parameter>AntiJammingState</Parameter>
  <Parameter>AirMistSetting</Parameter>
  </MWDparams>
- <Sample>
  <TiStamp>2012-10-04T11:13:50</TiStamp>
  <Val>0.02 0.194 53.5 10.5 NaN NaN 18.5 7.5 7.5 16.85 75 200 NaN 9.2 NaN 0 0 0 NaN</Val>
  </Sample>
- <Sample>
  <TiStamp>2012-10-04T11:13:51</TiStamp>
  <Val>0.04 1.0872 92.75 20 NaN NaN 35.75 15.75 15 16.35 75 200 NaN 39.2 NaN 0 0 0 NaN</Val>
  </Sample>
  </CompactMWDdata>
- <GenTrailer>
  <FileCloseDate>2013-05-08T11:35:06.577612+03:00</FileCloseDate>
  <ChkSum>6E7613E9</ChkSum>
  </GenTrailer>
  </DRMWD>
```

Liite 2 iSuren mittaamat muuttujat (1/2)

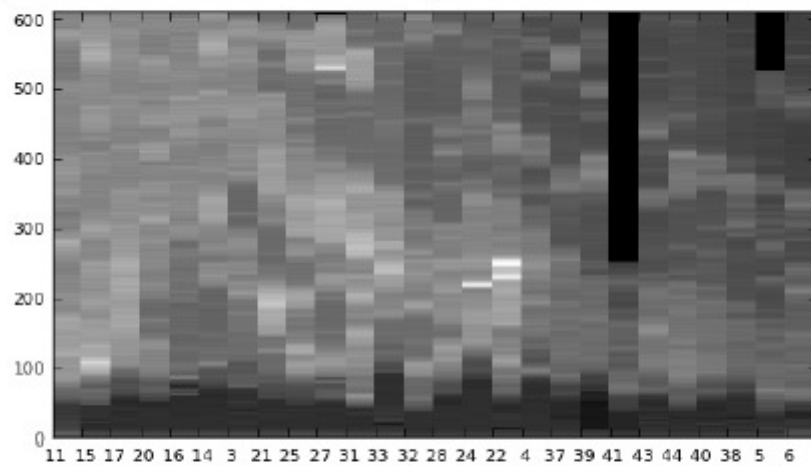
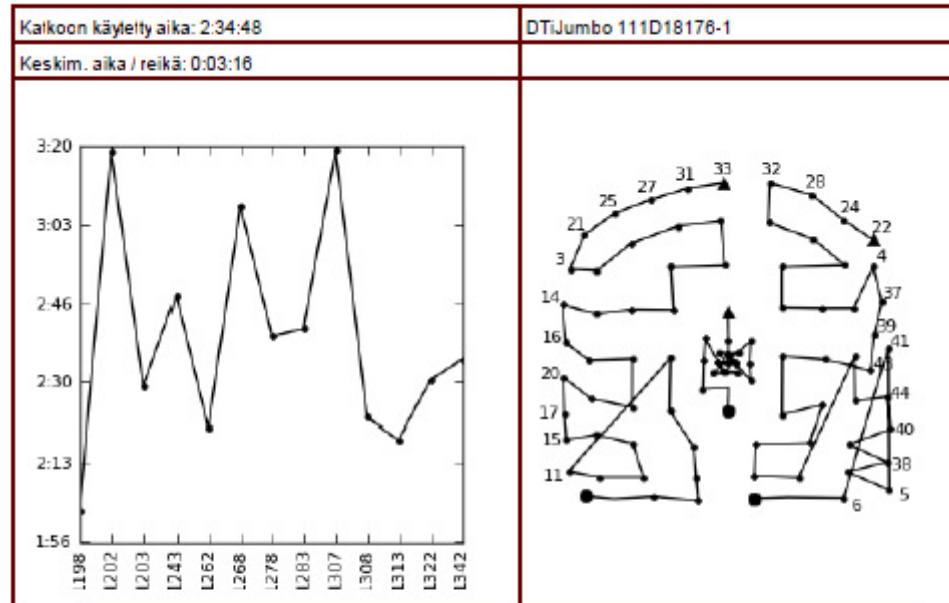
Esitetyt arvot	iSure	*.doc	*.csv	*.xml	*.dcl
Aika ennen porausta	x	x			?
Aika porauksen jälkeen	x	x			?
Aloitusporaus aika	x	x			?
Brutto poraustehokkuus	x	x			?
Häiriöporaus aika	x	x			?
Iskutunnit	x	x			?
Keskimääräinen poraustehokkuus	x	x			?
Lopetus aika	x	x			?
Nettotunkeumanopeus	x	x	x	x	?
Poraussekvenssi	x	x	x	x	?
Poraus aika	x	x	x	x	?
Poraus aika katkon porauskaavion perusteella	x	x			?
Poraus aika manuaalilla	x	x			?
Poraus aika täysteholla	x	x			?
Poratut metrit	x	x			?
Puomin ajo aika	x	x			?
Puomin ajo aika automaattilla	x	x			?
Puomin ajo aika manuaalilla	x	x			?
Toimeton aika	x	x			?
Reikätyyppi	x	x	x	x	?
Alfa kulma	x	x	x		?
Beta kulma	x	x	x		?
Roll-Over kulma	x	x	x	x	?
Suunniteltu alkupiste X, Y ja Z	x	x	x		?
Suunniteltu loppupiste X, Y ja Z	x	x	x	x	?
Alkupiste X, Y ja Z (porauskaavion koord.)	x	x	x	x	?
Loppupiste X, Y ja Z (porauskaavio koord.)	x	x	x		?
Alkupiste X, Y ja Z (projekti koord.)	x	x	x		?
Loppupiste X, Y ja Z (projekti koord.)	x	x	x		?
Puomin numero	x	x	x	x	?
Reiän syvyys	x	x	x	x	?
Reiän ID	x	x	x	x	?
Lustavalvonnan tila	x	x	x	x	?
Poraustehom asetus	x	x	x	x	?
Syötön paine	x	x	x	x	?
Huuhteluvirtaus	x	x	x	x	?
Huuhtelun paine	x	x	x	x	?
Iskun paine	x	x	x	x	?
Kruunu kivessä	x	x	x	x	?
Pyörityspaine	x	x	x	x	?
Pyöritysnopeus	x	x	x	x	?

Liite 1 iSuren mittaamat muuttujat (2/2)

Esitetyt arvot	iSure	*.doc	*.csv	*.xml	*.dcl
Stabilaattorin paine	x	x	x	x	?
Huuhteluvavonnan tila	x	x	x	x	?
Vesipumpun paine	x	x	x	x	?
Kuvat, kuvaajat ja taulukot:	iSure	*.doc			
Reikätaulukko	x	x			
Suunnitellut ja poratut reiät räjäytystasolla 2D	x	x			
Suunnitellut ja poratut reiät navigointitasolla 2D	x	x			
Sekvenssit ja roll-over kulmat navigointitasolla 2D	x	x			
MWD-Käyrästä 2D	x	x			
MWD Muuttujat	x	x			
Tiedonkeruutiedoston 3D-näkymä	x				
Tiedonkeruutiedostojen näyttäminen tunnelilomakkeilla	x				
MWD-reiät 3D	x				
Navigointi	x	x			

Liite 3 Raportointijärjestelmän tuottama raportti

Katko 1342 / et



Reikä	11	15	17	20	16	14	3	21	25	27	31	33	32
Poraus	2:33	2:33	2:45	2:49	3:02	3:00	3:02	2:54	2:49	2:52	2:40	3:46	3:09
Kohdistus		1:25	0:36		0:30		0:28	0:27	0:33	0:35	0:26		0:29

Reikä	28	24	22	4	37	39	41	43	44	40	38	5	6
Poraus	3:15	3:18	3:36	3:42	3:46	4:31	1:46	3:55	3:39	3:58	4:15	3:29	4:06
Kohdistus	0:38	0:40			0:29	0:37	1:00	0:44		2:55			1:23